ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME VI OCTOBRE 1947 NUMÉRO 24

La conservation de l'énergie

La théorie de la Conservation de l'Energie est la plus grande généralisation physique du XIXème siècle, et elle a joué dans ce domaine un rôle comparable à celui du principe de la Conservation de la Matière dans le domaine de la chimie. Ces deux principes, dont l'étude des phénomènes atomiques a montré la solidarité, ont aujourd'hui une importance si considérable qu'il est parfois difficile de réaliser qu'ils sont l'un et l'autre vieux d'à peine plus d'un siècle. L'année présente marque un centenaire important dans l'histoire de la physique, car c'est en 1847 que le *Philosophical Magazine* publiait un article dans lequel James Prescott Joule décrivait de façon détaillée ses mesures de l'équivalent mécanique de la chaleur par la fameuse méthode de la roue à palettes. Ces recherches montrèrent non seulement le rapport précis entre la chaleur et le travail mécanique mais menèrent aussi à la notion de la relation quantitative entre toutes les formes de l'énergie. On trouvera d'autre part dans ce numéro (p. 150) la reproduction d'une page du carnet de Joule dans laquelle il expose les grandes lignes de cette expérience célèbre.

Comme dans le cas de bien d'autres grandes découvertes scientifiques, les travaux de Joule avaient été inspirés par certains de ses prédécesseurs et contemporains. Mais c'est Joule qui eut l'idée géniale et qui démontra le premier de façon concluante qu'une série des phénomènes observables, se rattachant à l'énergie, pouvaient être exprimés à l'aide d'un principe unique. A certains points de vue il fut même gêné par les idées contemporaines, car la théorie du calorique qui soutenait que la chaleur avait les propriétés d'un fluide était couramment adoptée. La théorie dynamique de la chaleur, si solidement établie par les travaux de Joule, ne fut généralement acceptée que bien après le milieu du XIXème siècle.

La théorie du calorique avait été pendant longtemps étayée indirectement par la théorie du phlogistique, et jusqu'au moment où celle-ci fut mise en question on n'avait pas eu lieu de douter de la première, car elles avaient beaucoup de points communs. Le calorique, comme le phlogistique, était un fluide sans poids ni substance. A l'origine on avait imaginé qu'il était fortement élastique et que ses particules se repoussaient les unes les autres. Un peu plus tard une forme modifiée de cette théorie fut émise par Marat en 1780 et l'on supposait que les particules de chaleur attiraient la matière ordinaire et qu'elles se partageaient entre différents corps proportionnellement à leur attraction mutuelle. Bien qu'erronée la théorie du calorique avait bien des points en sa faveur comme hypothèse de base pour des recherches. Nicolas Carnot, qui accepta finalement la théorie dynamique, établit les principes de la thermodynamique sur la base de la théorie du calorique.

La théorie du calorique fut mise en doute pour la première fois lorsque l'on commença à introduire les méthodes quantitatives dans l'étude de la chaleur. L'introduction des méthodes quantitatives fut, dans une large mesure, l'œuvre de Joseph Black, qui formula, pendant la seconde moitié du XVIIIème siècle, les concepts de la chaleur spécifique et de la chaleur latente.

C'est Benjamin Thompson, Comte Rumford, qui le premier réfuta catégoriquement la théorie du calorique. Les observations de Rumford, et ses mesures de la chaleur produite au cours du forage d'un canon de bronze, alors qu'il était ministre de la guerre au service de la Bavière, sont bien connues. Il employa la méthode de Black pour démontrer que, contrairement aux prévisions de la théorie du calorique, la chaleur spécifique des copeaux de bronze obtenus par forage du canon était identique à celle du bronze

original. Les résultats qu'il avait obtenus furent communiqués par lui-même à la *Royal Society* en 1798. C'est dans cet article qu'il émit son opinion catégorique que la chaleur était une forme de mouvement. Les conclusions de Rumford furent confirmées en 1812 par Davy, qui se basait sur des expériences sur la fusion de la glace par frottement. Davy, lui aussi, affirma que la chaleur était une forme du mouvement et que ses lois sont essentiellement les mêmes que celles du mouvement. Cinq ans auparavant, Thomas Young, physicien versatile et égyptologue, avait également exprimé de sérieux doutes sur la véracité de la théorie du calorique.

On ne sait généralement pas que bien que Rumford lui-même n'ait jamais fait de détermination quantitative de l'équivalent mécanique de la chaleur, les résultats qu'il a publiés permettent de le calculer. En fait, les calculs nécessaires furent effectués quelque cinquante ans plus tard par Joule, qui obtint une chiffre du même ordre de grandeur que celui qu'il avait déduit lui-même de ses propres expériences, beaucoup plus précises.

Un calcul de l'équivalent mécanique de la chaleur, basé sur la différence de travail nécessaire pour obtenir la compression adiabatique et la compression isothermique d'un gaz, fut fait par Julius Mayer. Il publia son article dans le *Philosophical Magazine* en 1842.

Un exposé clair du principe de la conservation de l'énergie fut également publié en 1843 par le philosophe danois Colding. Il remarqua que lorsque l'on tirait un traîneau chargé sur des rails de divers matériaux, le rapport de la chaleur dégagée au travail effectué était à peu près constant.

Les premières expériences de Joule dans ce domaine furent effectuées au cours de la seconde moitié de l'année 1840, époque à laquelle il publia une note sur l'effet chauffant du courant électrique. Plus tard il attribua le chauffage au travail mécanique fourni en tournant le générateur électrique, et il publia ses premiers calculs sur l'équivalent mécanique de la chaleur en 1843. En 1845 il fit une détermination différente en mesurant la chaleur dégagée au cours de la compression d'un gaz. Plus tard dans la même année il décrivit sa méthode, perfectionnée dans son mémoire de 1847, de mesure de l'équivalent mécanique de la chaleur en faisant tourner une aube dans un récipient contenant de l'eau ou un autre liquide. Ses recherches dans ce domaine sont résumées dans le célèbre mémoire qu'il présenta à la *Royal Society* en 1849.

Dans une lettre adressée à Pictet en 1804, Rumford exprimait l'espoir que ses observations sur la génération de chaleur pendant le forage du canon lui donneraient la satisfaction de voir, de son vivant, « le calorique enterré en même temps et dans la même tombe que le phlogistique ». Son espoir fut déçu, et ce sont les travaux de Joule qui amenèrent ce résultat. Encore en 1856 quelques ouvrages de référence classiques donnaient la première place à la théorie du calorique.

La détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur eut des résultats bien plus poussés que l'établissement d'une très importante constante physique. Le fait que c'était une valeur constante, par quelque méthode que l'on fit la détermination, établit le principe général de la conservation de l'énergie. L'énoncé complet de ce principe doit beaucoup à Helmholtz en Allemagne et à Colding au Danemark. Les travaux de Joule, inspirés par ceux de ses prédécesseurs, ont une importance particulière, parce qu'il lui échut, comme cela n'arrive qu'à bien peu, d'établir un de ces principes dont la découverte marque un stade bien défini de l'avancement de la science.

Rédacteur en chef: E. J. HOLMYARD, M.A., M.Sc., D.Litt., F.R.I.C.
Rédacteur adjoint: TREVOR I. WILLIAMS, B.A., B.Sc., D.Phil.
Pour les éditions étrangères: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.
Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, London, S.W.1

Les rayons X et l'atome de carbone

KATHLEEN LONSDALE

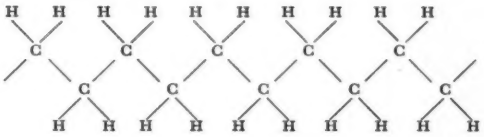
La vie elle-même, ainsi que de nombreuses formes de l'activité humaine, reposent sur les propriétés de l'atome de carbone et ses réactions chimiques tout à fait spéciales. Au cours des dernières années les rayons X ont été le complément précieux des méthodes classiques employées pour étudier l'architecture des composés organiques et ont fourni des renseignements sur la forme des molécules et les distances interatomiques, en particulier pour les composés organiques, que n'aurait pu fournir aucune autre méthode.

L'atome de carbone occupe dans le tableau périodique des éléments une place à part. Il n'est ni électropositif comme les métaux ni électronégatif comme les halogènes, et cependant, à l'occasion, il se comporte comme les uns ou les autres. Lorsqu'il se combine il préfère ne céder ou n'acquérir aucun électron, mais les partager avec les autres atomes. Il peut se combiner avec des éléments à propriétés totalement différentes. Il peut entrer en combinaison avec d'autres atomes de carbone de façon illimitée.

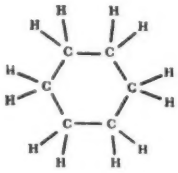
Le carbone étant tétravalent présente quatre électrons externes à partager, et les chimistes ont cru longtemps que lorsqu'il formait quatre liaisons simples covalentes, comme dans le cas du méthane (CH_4), ses valences étaient dirigées suivant un tétraèdre. Dans le tétrachlorure de carbone (CCl_4) le carbone est combiné par des liaisons simples covalentes avec quatre atomes de chlore disposés autour suivant un tétraèdre. Toutefois dans le chloroforme ($CHCl_3$) le tétraèdre est légèrement aplati et les atomes de chlore sont un peu plus éloignés l'un de l'autre que dans CCl_4.

L'une des valences du carbone peut être employée, comme dans le cas de l'éthane ($H_3C.CH_3$), pour former une liaison avec un autre atome de carbone. Par extension de ce processus les atomes de carbone peuvent former des chaînes ouvertes longues, bordées par des atomes d'hydrogène ou des chaînes fermées de différentes sortes. Les paraffines, les acides gras et les alcools sont des exemples de molécules à chaînes ouvertes.

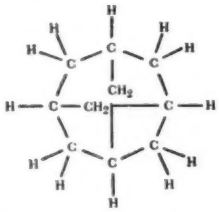
L'exemple le plus frappant de molécule à chaîne carbonée est sans doute celle du polythène (représentée ci-dessous), et dans laquelle plusieurs milliers d'atomes sont liés les uns aux autres et forment une substance présentant des propriétés électriques et mécaniques uniques.



Par contraste avec les molécules pratiquement infinies du polythène il existe des molécules fermées, telles que celles du cyclohexane:

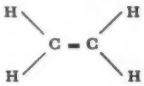


et de l'adamantin:



Dans tous ces composés carbonés il n'y a entre les atomes de carbone, que des liaisons simples.

Le carbone cependant peut aussi former des doubles liaisons, comme dans l'éthylène:



ou l'anhydride carbonique ($O=C=O$).

Le carbone peut former des liaisons triples, comme dans l'acétylène ($H—C\equiv C—H$) ou l'acide cyanhydrique ($H—C\equiv N$), mais il ne forme pas de quadruple liaison. Il n'y a pas de molécule définie $Si\equiv C$ ou $C\equiv C$. Lorsque le carbone se combine avec le carbone seul, il forme

des molécules infinies; mais ceci peut se produire de plusieurs façons. Le diamant est du carbone pur, et le graphite également (bien que tous deux soient généralement légèrement impurs), et cependant ils sont très différents. Le diamant pur est incolore et dur; il présente une conductivité électrique faible et une susceptibilité diamagnétique peu élevée. Sa densité est d'environ 3,5 g par cm^3. Le graphite est noir et mou. Sa conductivité électrique est élevée et il a une forte susceptibilité diamagnétique. Sa densité n'est que de 2,3 g par cm^3. Ces différences ne peuvent provenir que de la manière dont les atomes sont liés, c'est-à-dire de la *structure*.

Comment pouvons-nous déterminer une structure composée d'atomes qui ne sont distants les uns des autres que d'environ 0,015 millionième de centimètre (1,5 Å)? Ce n'est possible que s'il y a une certaine régularité dans la disposition atomique et si elle se répète dans l'espace de façon à former un motif. En fait, toutes les substances solides sont cristallines, c'est-à-dire qu'elles sont constituées par un motif atomique à trois dimensions qui se répète régulièrement. On ne peut distinguer séparément deux objets si la distance entre eux est inférieure au tiers de la longueur d'onde de la lumière employée, c'est-à-dire au moins égale à 1.500 Å, et dans le cas du diamant, la distance entre les atomes de carbone n'est qu'un millième de cette longueur. La longueur d'onde des rayons X est, cependant, du même ordre de grandeur que les distances entre les atomes. On ne peut employer les rayons X pour voir directement les atomes dans les cristaux, mais l'arrangement régulier de ceux-ci diffracte les rayons X de façon à donner des motifs de diffraction réguliers qui peuvent être enregistrés photographiquement. Les atomes d'un liquide ou d'un gaz dispersent aussi les rayons X mais ne donnent pas de motif, car ils n'ont pas d'arrangement régulier. Ils donnent des anneaux diffus qui permettent de calculer l'éloignement *moyen* des atomes. Les motifs de diffraction des rayons X donnés par les solides peuvent être employés pour trouver l'arrangement exact des atomes et même la distribution de la densité électronique à l'intérieur et entre les atomes. Ceci entraîne pas mal de mathématiques, bien que quelques-uns des caractères du motif atomique puissent être trouvés par simple observation.

Dans le cas du diamant, chaque atome est rattaché tétraédriquement à quatre autres par des liaisons simples, formant ainsi une grande molécule à trois dimensions, très dure et à point de fusion élevé par suite de la force des liaisons covalentes entre les atomes. Il n'y a pas de liaisons faibles dans la chaîne. En fait, le diamant ne fond jamais: ou bien il est transformé en graphite, ou bien il se sublime. La dureté du diamant est sa propriété la plus importante du point de vue industriel: actuellement, environ 80% en poids du diamant extrait des mines est employé industriellement. Grâce à sa structure le diamant est également un excellent conducteur thermique, mais son coefficient de dilatation est faible. On peut amener le diamant au rouge vif et le plonger dans l'air liquide sans inconvénient. Ceci est très important du point de vue industriel, car les diamants employés dans les machines-outils à grande vitesse sont portés à des températures très élevées et ils ne doivent ni se briser ni s'user trop rapidement. On emploie des filières en diamant pour obtenir les fils de tungstène extrêmement fins employés pour les lampes électriques et les lampes de T.S.F. Le diamant est employé pour des machines-outils et des foreuses qui peuvent creuser le sol jusqu'à une profondeur d'environ 3 km. Le tunnel du Simplon, ouvert en 1906, est le premier grand ouvrage pour lequel on ait employé la foreuse en diamant. Le haut degré de réfraction et de dispersion des ondes lumineuses, qui donne aux diamants de joaillerie leur brillant et leur feu, tient également à la structure du cristal.

La structure du graphite est toute différente. Les atomes de carbone ne présentent plus la symétrie tétraédrique, et les liaisons qui les unissent ne sont plus simples; chaque atome est relié à *trois* autres pour former un réseau hexagonal plan. Les quatre valences du carbone étant partagées entre trois liaisons, la valeur de chacune est de 4/3. Le graphite est composé de couches hexagonales d'atomes, entassées de façon à former une structure stratifiée, les forces entre les couches étant très faibles. C'est cette structure stratifiée, avec des forces très considérables entre les atomes de carbone dans le plan et des forces très faibles entre les plans, qui donne au graphite ses propriétés particulières. Les couches glissant facilement les unes sur les autres font que le graphite est un excellent lubrifiant. Il est possible de faire pénétrer entre les couches diverses sortes d'atomes du fait qu'elles sont réunies entre elles d'une façon lâche, et ceci explique comment les formes assez impures du carbone que l'on obtient en faisant brûler des matières carbonées ont la propriété d'absorber des gaz et d'extraire des produits colorants de leurs solutions.

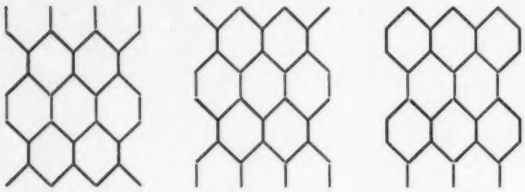
On peut obtenir, grâce aux photographies aux rayons X, non seulement la structure d'une substance cristalline, mais également la mesure des cristallites qui la composent. Des photographies de divers carbones montrent qu'ils ne sont en réalité que du graphite, mais à l'état très divisé. En fait c'est la petitesse de dimension des cristallites qui leur permet d'absorber les gaz. Il y a une plus grande surface pour un volume donné, et, par conséquent, une entrée plus facile pour l'atome gazeux. De plus, les rayons X mettent en évidence que dans des structures telles que celle du graphite les atomes se déplacent plus facilement perpendiculairement aux couches qu'à l'intérieur de celles-ci. C'est ce qui explique pourquoi l'absorption de gaz par le charbon est considérablement augmentée aux basses températures: la vibration atomique, qui est d'origine thermique, est beaucoup plus faible à la température de l'air liquide et l'immobilité relative des atomes de carbone facilite la pénétration des atomes gazeux dans les couches. Le graphite a également d'intéressantes propriétés électriques. L'excès d'électrons à valence dans les couches fait que le graphite se comporte comme un métal; sa conductivité électrique est élevée à l'intérieur des couches, mais perpendiculairement à celles-ci c'est un isolant électrique. Sous forme de carbone, les couches de graphite sont orientées en tous sens et la substance, dans son ensemble, est conductrice, mais on peut, par pression, changer l'orientation et faire varier la résistance. Les baguettes des lampes à arc sont en carbone relativement pur, ainsi que les balais des dynamos. On emploie le carbone dans les transmetteurs téléphoniques à cause de la variation de sa résistance avec la pression.

Les rayons X permettent de mesurer avec une grande précision la distance entre les atomes de carbone dans le diamant. Dans les divers échantillons étudiés jusqu'alors elles varient entre 1,54465 Å et 1,54443 Å. Ces variations sont dues sans aucun doute à la présence d'impuretés: l'examen spectroscopique a révélé dans tous les diamants examinés la présence de traces d'aluminium, de silicium, de calcium et de magnésium, et d'autres éléments lourds se rencontrent dans quelques-uns. La méthode employée n'aurait pas permis de déceler l'hydrogène, le bore, l'azote, l'oxygène et autres éléments légers qui peuvent très bien s'y trouver comme impuretés. Nous ignorons cependant comment l'impureté entre dans le réseau du diamant de telle sorte qu'il le dilate ou le contracte dans son ensemble, comme l'indique l'examen aux rayons X. Il y a également certains effets sur les photographies aux rayons X que l'on n'a pu expliquer jusqu'à présent. Nous ne savons ce qui produit les petits triangles de points que l'on peut voir au centre de la figure 1; nous savons cependant que l'un des triangles est donné par des radiations de Cu$K\alpha$ et le second par des radiations de Cu$K\beta$ (qui sont les deux principales longueurs d'onde des rayons X d'une anticathode de cuivre). Tous les diamants ne donnent pas ces triangles; ils sont parfois complètement absents. Ils constituent ce que l'on appelle un effet de *sensibilité de structure*, mais, autant que l'on puisse voir, ils ne sont pas sensibles à la température. Les deux variétés de diamants — celle qui donne cet effet aux rayons X et celles qui ne le donne pas — diffèrent encore à d'autres points de vue, bien qu'elles semblent avoir la même structure. Leur absorption vis-à-vis des rayons infra-rouges et ultra-violets n'est pas identique. Tandis que les diamants du type qui ne donne pas l'effet de triangles fournissent une excellente photographie aux rayons X par rayon divergeant, ceux qui donnent cet effet avec netteté ne fournissent aucun motif par rayon divergeant. Sir C. V. Raman a suggéré qu'il existait en réalité quatre variétés de diamant différant par l'orientation des atomes de carbone tétraédriques.

Le graphite est la forme la plus stable du carbone, et l'on peut convertir le diamant en graphite, mais on n'a pu encore parvenir à renverser le phénomène. Il est vrai que l'analyse aux rayons X a prouvé que quelques petits spécimens qui se trouvent au Musée d'Histoire Naturelle de South Kensington et qui ont été fabriqués par Hannay, qui en fit don au musée en 1880, étaient du diamant véritable. Cependant, personne n'a pu reproduire l'expérience. Hannay lui-même estimait à 6% seulement les réussites de ses nombreux essais.

Le graphite présente aussi ses problèmes. La distance entre les atomes de carbone dans les couches, qui sont plus solidement liés entre eux que ceux du diamant, n'est que $1{,}4210 \pm 0{,}0001$ Å. A mesure que la température augmente, la distance entre les couches croît, la valeur moyenne du coefficient de dilatation pour la série de températures comprise entre 14,6 et 800° C étant $28{,}3 \times 10^{-6}$. Cependant la distance de carbone à carbone dans les couches commence d'abord par se contracter et ne se dilate qu'à partir de 400° C. Le coefficient de dilatation moyen de 0 à 150° C est $-1{,}5 \times 10^{-6}$, et de

600 à 800° C il est de $+ 0,9 \times 10^{-6}$. Les couches d'atomes consécutives du graphite ne sont pas disposées verticalement les unes sur les autres.



I II III

La plupart des graphites consistent en couches alternées telles que I, II; I, II . . ., mais quelques graphites affectent une formation telle que I, II, III; I, II, III . . ., et un faible pourcentage consiste en couches disposées sans ordre précis. Le fait curieux est que les graphites naturels des diverses parties du monde, et même les graphites artificiels, semblent avoir presque uniformément 80% de la structure I, II; I, II; et 14% de la structure I, II, III; I, II, III. Des lignes peu accentuées et encore inexpliquées sur les photographies de graphite semblent indiquer encore la présence d'autres structures. Le graphite peut aussi former des composés d'addition avec des atomes tels que le potassium ou des radicaux tels que SO_4, qui s'insinuent de façon régulière entre les couches; ici encore une grande variété d'arrangements de ces couches paraît possible.

Lorsque le carbone est allié à d'autres éléments il donne des produits d'une grande importance du point de vue industriel. Le carbure de tungstène est aussi dur que le diamant, et nous connaissons bien les effets de l'addition au fer de faibles quantités de carbone. La fonte, qui contient au moins 1,5% de carbone sous forme de graphite, est très cassante mais bon marché; elle fond aisément, et peut être facilement moulée en toute forme. Les aciers contiennent moins de 1,5% de carbone; ils doivent leurs diverses qualités en grande partie à la façon dont les atomes de carbone sont amenés, par des traitements thermiques convenables, à s'insérer dans le cadre du fer. On peut suivre, grâce à la photographie aux rayons X, les effets du traitement thermique ainsi que du traitement mécanique.

Du point de vue purement scientifique il est très intéressant de savoir comment les structures des divers composés du carbone sont liées à celles du diamant et du graphite, puisqu'elles sont si différentes l'une de l'autre. D'une façon générale, les composés du carbone se divisent largement en deux groupes. Il y a les composés aliphatiques, dans lesquels les liaisons carbone à carbone sont simples; puis les composés aromatiques ou conjugués, dans lesquels il y a en même temps des liaisons simples et des liaisons doubles, alternativement. Les composés aliphatiques comprennent des chaînes ouvertes et des chaînes fermées; les chaînes fermées peuvent être constituées uniquement d'atomes de carbone, comme dans le cyclohexane, ou bien la chaîne peut contenir des atomes d'oxygène, comme dans le cas des sucres. Dans tous les composés aliphatiques les liaisons carbone–carbone sont les mêmes, du point de vue structural, que celles du diamant. Elles ont environ 1,54 Å de longueur et les liaisons d'un même atome de carbone sont disposées tétraédriquement. Mais il y a une différence importante. Dans le cas du diamant, le cristal tout entier constitue une seule grande molécule et toutes les liaisons sont également fortes. Dans le cas des composés aliphatiques, les molécules ont une taille définie (même dans le cas du polythène elles ne sont « infinies » que dans une direction) et les forces entre les molécules sont faibles; dans les hydrocarbures purs elles sont aussi faibles que celles qui existent entre les couches du graphite. Les distances entre les molécules sont également du même ordre que dans le graphite, c'est-à-dire environ 3,5 Å. Si les molécules contiennent de l'oxygène ou de l'azote, les liaisons entre les molécules peuvent être formées par des atomes d'hydrogène. La longueur d'une liaison hydrogène ou hydroxyle est de 2,5 à 2,9 Å. Le seul composé du carbone qui ait une structure similaire à celle du diamant est le carborundum (SiC), qui cependant en diffère en ce qu'il présente plusieurs types de structure. Le carborundum est extrêmement résistant, et on l'emploie comme abrasif. D'autre part, les composés aliphatiques sont mous et ont des points de fusion peu élevés parce qu'il est aisé de rompre les liaisons entre les molécules.

Il est curieux de noter que, même dans le cas de chaînes aliphatiques très longues, celles-ci sont habituellement parallèles les unes aux autres, comme des allumettes dans une boîte. C'est ce qui explique la formation des bulles de savon, qui sont composées de chaînes d'atomes de carbone, bordées d'atomes d'hydrogène et placées les unes à côté des autres, perpendiculairement à la surface de la bulle. Les acides gras, tels que l'acide stéarique, l'acide palmitique et l'acide oléique, sont les constituants essentiels des huiles, des graisses, des cires et des savons. Ces composés à longues chaînes contiennent un groupe très actif,

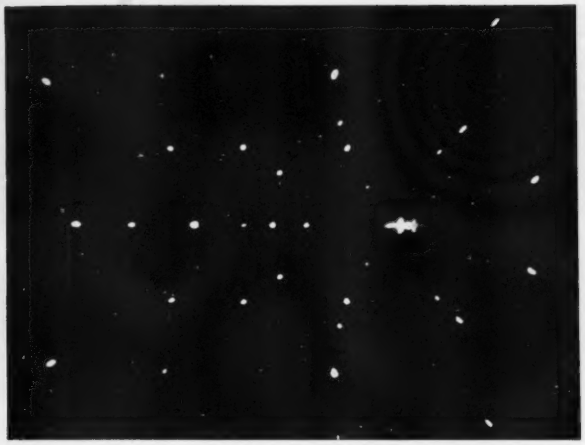


FIGURE 1 – *Photographie Laue d'un cristal simple fixe de diamant (pesant moins de 0,5 mg) à l'aide des rayons X d'une anticathode de cuivre, enregistrée sur film plan. Notons les deux petits triangles de points de part et d'autre de la réflexion Laue au milieu.*

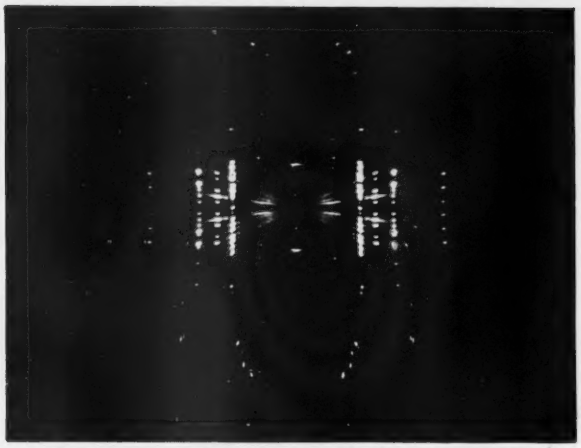


FIGURE 2 – *Photographie rotatoire de diphénylbutadiène* $(C_6H_5.(CH)_4.C_6H_5)$*; radiation de CuK; film plan.*

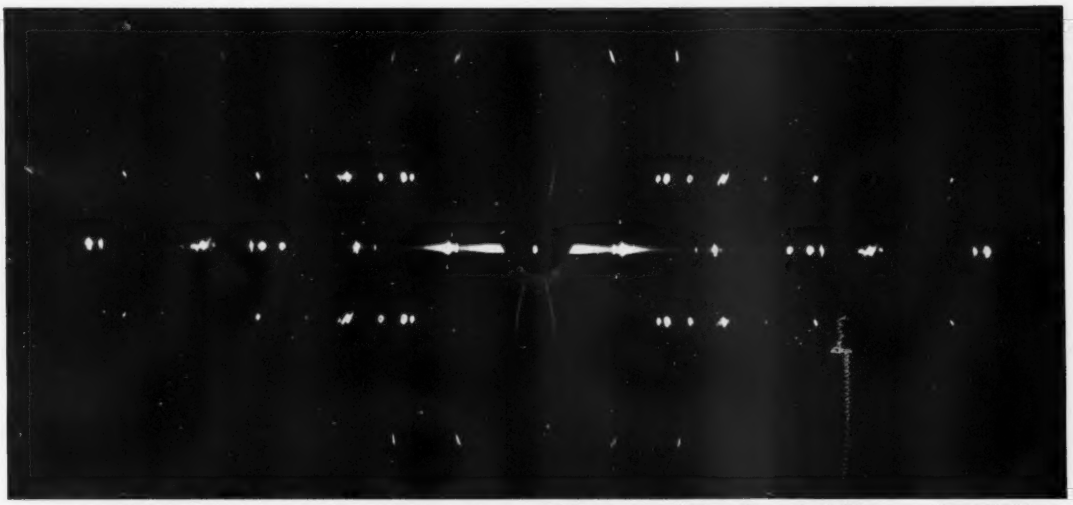


FIGURE 3 – *Photographie rotatoire d'un cristal simple de graphite, avec radiation filtrée de CuK*α*, sur film cylindrique.*

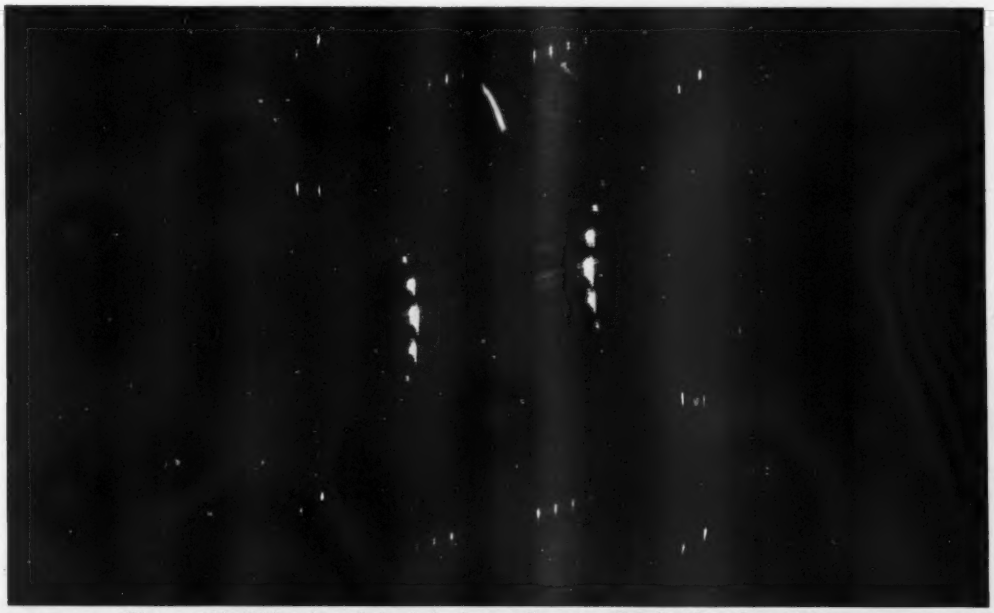


FIGURE 5 – *Photographie de cyclohexane à la température de l'air liquide. (A la température ordinaire le cyclohexane est un liquide sans arrangement régulier des molécules.)*

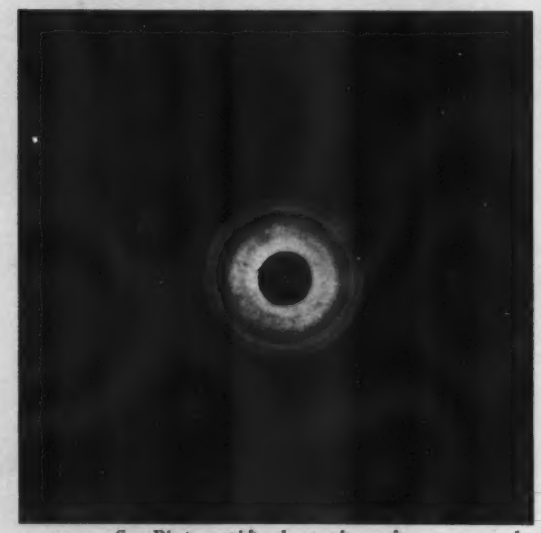


FIGURE 6 – *Photographie de papier noir, montrant les anneaux d'une poudre de la cellulose.*

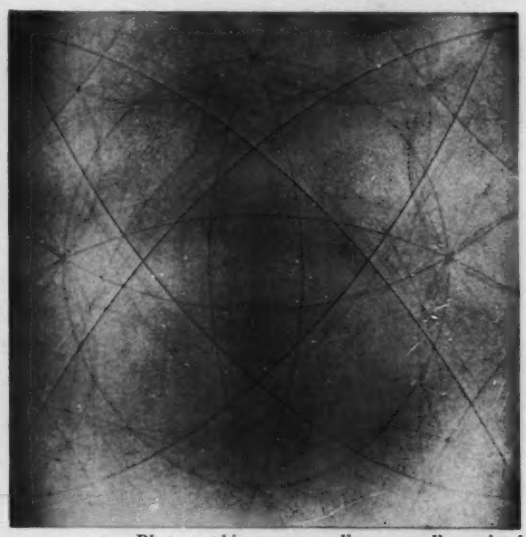


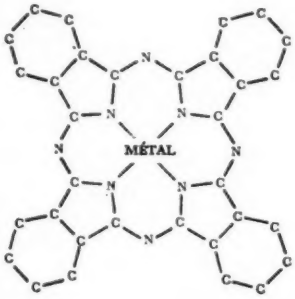
FIGURE 7 – *Photographie au rayon divergeant d'un cristal simple de diamant. De telles photographies, si elles sont prises à grande distance, peuvent donner des mesures très précises de la distance carbone à carbone de divers diamants.*

tel que —COONa, à l'extrémité de la chaîne. Lorsqu'une couche d'huile s'étale à la surface de l'eau les groupes actifs se fixent solidement à la surface tandis que les chaînes carbonées auxquelles ils sont attachés se dressent comme la laine d'un tapis et se tiennent solidement les unes à côté des autres. Les longues chaînes du polythène ne forment pas des faisceaux parallèles sur *toute* leur longueur, mais une même molécule formera une partie de plusieurs cristallites, les régions situées entre celles-ci seront sans ordre précis, les cristallites elles-mêmes rayonnant de centres; il est cependant possible de l'étirer à froid, ce qui a pour effet d'aligner les cristallites.

Du fait de l'arrangement tétraédrique des liaisons carbonées simples, les anneaux carbonés du cyclohexane et des sucres sont disposés en zigzag, mais dans les composés aromatiques tels que le benzène, le naphtalène, l'anthracène, le toluène etc., les anneaux sont tout-à-fait plans et la distance de carbone à carbone n'est que de 1,39 Å. Dans ces composés la liaison carbone–carbone est intermédiaire entre une liaison simple et une liaison double, comme dans le cas du graphite, et à bien des points de vue les dérivés de condensation du benzène ressemblent au graphite. Si on les place dans un champ magnétique où ils peuvent se déplacer librement, ils se retourneront brusquement, comme le graphite, de façon que les lignes de force soient parallèles aux plans des molécules. Ici encore la distance entre les molécules consécutives est d'environ 3,5 Å, sauf dans le cas où la liaison est faite par l'intermédiaire de groupes hydrogène ou hydroxyle. Le grand anneau fermé constitué par des atomes de carbone et d'azote et qui forme avec les quatre anneaux benzéniques qui lui sont attachés le noyau de la phtalocyanine, est aussi de nature aromatique et les déterminations par analyse aux rayons X de la densité électronique ont montré que l'ensemble de la molécule était parfaitement plan. En fait, des métaux placés en son centre sont forcés de former des liaisons planes pour s'y fixer, même dans le cas d'éléments tels que le glucinium, qui forme généralement des liaisons tétraédriques. Le dérivé cuivré de la phtalocyanine, connu dans le

commerce sous le nom de « Bleu monastral », est une teinture qui, normalement, résiste parfaitement à la lumière, à la chaleur et aux agents chimiques.

Dans les composés conjugués, tels que le butadiène ($H_2C{=}CH{-}CH{=}CH_2$) ou l'acide sorbique ($H_3C{-}CH{=}CH{-}CH{=}CH{-}COOH$), dans lesquels se trouve une chaîne ouverte comportant des liaisons simples et doubles, les mesures aux rayons X montrent une tendance des liaisons à s'égaliser. La « double » liaison est nettement



plus longue que ne le serait une véritable double liaison et, ici encore, la molécule tend à être plate. Ici, de même encore, le cristal tentera de tourner dans un champ magnétique de façon que les plans moléculaires soient parallèles au champ. Ce comportement met en évidence la présence d'électrons (ces mêmes électrons qui donnent au graphite ses propriétés semi-métalliques) qui peuvent se déplacer au-dessus de tous les atomes de carbone de la molécule ou bien être partagés entre eux.

On peut montrer à l'aide d'un diagramme comme celui qui suit le rapport entre les structures des composés carbonés simples:

carbone
- diamant
  - composés aliphatiques
    - chaînes ouvertes (paraffines, acides gras, polythène, etc.)
    - chaînes fermées (cyclohexane, adamantin, sucres, etc.)
- graphite
  - aromatiques (benzène, naphtalène, phtalocyanine, etc.)
  - conjugués (butadiène, hexatriène, acide sorbique, etc.)
- acétylène, etc.

Il existe cependant un groupe de substances qu'il est difficile de faire entrer dans ces divisions: ce sont les caoutchoucs. Essentiellement, le caoutchouc est un polymère élevé de l'isoprène $\left(\begin{array}{l}H_2C{=}C{-}CH{=}CH_2\\ \quad\;\;|\\ \quad\;\;CH_3\end{array}\right)$. La tendance à s'égaliser des liaisons doubles et simples signifie que chacune prend, dans une certaine mesure, les caractères de l'autre, et les liaisons se déplaçant facilement, ils s'ensuit des polymérisations:

$$\left(\begin{array}{l}H_2C{=}C{-}CH{=}CH_2\\ \quad\;\;|\\ \quad\;\;CH_3\end{array}\right)$$

devient

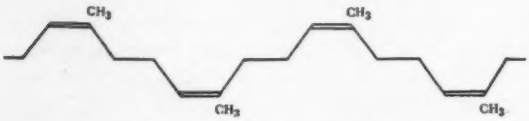
$$\left(\begin{array}{l}{-}CH_2{-}C{=}CH{-}CH_2{-}\\ \quad\;\;|\\ \quad\;\;CH_3\end{array}\right)_n$$

et l'on trouve dans le polymère une succession de liaisons simples et doubles dans la proportion de 3:1.

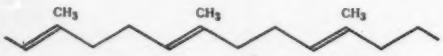
Les chaînes des caoutchoucs, comme celle-ci tendent non pas à s'aligner côte à côte comme les chaînes longues des paraffines, mais elles s'enroulent plutôt, formant une structure sans dessin défini dans l'espace et qui donne des photographies aux rayons X semblables à celles des liquides. Si on les étire complètement, toutefois, les caoutchoucs donnent des photographies aux rayons X comparables à celles de cristaux tournants simples. Non seulement les chaînes deviennent droites par étirement, mais encore, lorsqu'elles sont étendues, on constate que les liaisons de côté sont régulières pour un nombre considérable de molécules. L'examen aux rayons X de composés carbonés simples, comprenant trois liaisons simples entre deux doubles liaisons, ont donné lieu à une observation inattendue: on a constaté que la liaison du milieu des trois simples est plus courte que ne devrait l'être une liaison simple. La chaîne semble vouloir acquérir une certaine conjugaison, mais on ne sait encore pour quelle raison.

Du point de vue mécanique beaucoup d'autres polymères élevés ressemblent au caoutchouc. L'isobutylène $\left(\begin{array}{l}CH_3\diagdown\\ \qquad C{=}CH_2\\ CH_3\diagup\end{array}\right)$ donne par polymérisation le polyisobutylène $\left(\begin{array}{l}CH_3\diagdown\\ \qquad {-}C{-}CH_2{-}\\ CH_3\diagup\end{array}\right)_n$

et, bien que toutes les liaisons soient devenues simples, les chaînes ne montrent pas de tendance à se placer en faisceaux droits comme dans le cas du polythène $(—CH_2—CH_2—)_n$; mais elles s'enroulent et l'examen aux rayons X donne un motif correspondant à une substance liquide ou amorphe. Si on l'étire à mille fois sa longueur originale, le polyisobutylène donne alors un magnifique dessin correspondant à un cristal unique. L'élasticité du caoutchouc n'est donc pas une propriété qui correspond particulièrement au rapport 3 : 1 des liaisons simples et doubles. Il existe, en effet, une autre forme de polyisoprène, la gutta-percha, qui n'est pas élastique du tout, mais a l'aspect d'une substance cristalline cornée. L'étude aux rayons X montre que le caoutchouc est la forme *cis* qui, lorsqu'on l'étire, donne une chaîne du type:

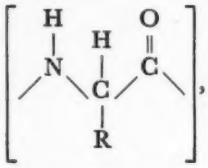


tandis que la gutta-percha est la forme *trans*, du type:



Cependant les composés carbonés les plus importants sont ceux que l'on trouve dans la matière vivante, végétale ou animale. En présence de lumière solaire les plantes vertes peuvent assimiler le gaz carbonique de l'atmosphère et produire, avec l'eau, des hydrates de carbone, qui forment alors des chaînes de polysaccharides dont la plus connue est la cellulose. Les fibres végétales, comme le coton et le chanvre, et les formes régenérées des fibres cellulosiques telles que la soie artificielle « viscose », donnent d'excellentes images aux rayons X. Celles-ci montrent que les chaînes des polysaccharides doivent être complètement étendues, puisqu'elles donnent un motif régulier. Toutefois, il existe divers moyens d'arranger le même nombre d'atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. La cellulose n'est qu'un de ces modes; l'acide alginique, que l'on trouve dans les algues, en est un autre, et ce corps peut aussi être employé pour la fabrication de fils de soie artificielle. Dans les fibres, les cristallites sont disposées de façon à ce que leur longueur soit parallèle, ou presque, à l'axe de la fibre. (Dans le cas du coton, elles sont en spirale autour de l'axe.) Mais dans le cas du papier ou de la cellophane elles sont dérangées (figure 6).

Les animaux ne peuvent assimiler le gaz carbonique, mais ils ont besoin de carbone pour fabriquer des protéines, qui peuvent être décomposées et reconstruites suivant les besoins. Les chaînes protéiniques ne sont pas des chaînes carbonées pures: l'azote est un constituant essentiel. Ce sont des chaînes de polypeptides construites par combinaison de résidus amino-acides

tels que 

, où R représente différents groupes latéraux. De telles chaînes peuvent être variées à l'infini. La protéine de la soie naturelle, la fibroïne, donne un excellent motif aux rayons X, montrant l'existence de chaînes complètement étendues. Les motifs donnés par la laine, la corne, et les cheveux d'une part, et d'autre part par les muscles, ne sont pas si bons: mais ils se ressemblent de façon singulière, mettant en évidence que malgré leur constitution chimique différente le muscle et la laine doivent avoir une architecture similaire. Ils donnent tous deux des motifs caractéristiques lorsqu'ils ne sont pas étirés et un motif différent lorsqu'on les étend, mais les deux substances sont de structures comparables dans les deux états. Les rayons X ont permis de voir que les protéines des oiseaux et des reptiles avaient des structures comparables. Certaines fibres synthétiques comme le nylon donnent également d'excellents motifs.

Quelques corps comme les protéines globulaires, telles l'insuline et l'hémoglobine, et les virus, donnent des motifs si compliqués qu'ils dépassent les possibilités qu'offre actuellement la technique de leur analyse. Les dernières analyses complètes de l'iodure de cholestéryle et de la pénicilline par la méthode aux rayons X avec ses perfectionnements les plus poussés, a cependant donné tout lieu de croire que tous ces composés carbonés nous livreraient un jour le secret de leur structure.

Mais il y a un domaine dans lequel les méthodes aux rayons X ont été décevantes. Les matières plastiques synthétiques, qui sont toutes des composés carbonés hautement polymérisés, semblent ne présenter que peu ou pas de régularité de structure et ne donnent, par conséquent, que peu de renseignements par leurs motifs de diffraction de rayons X.

La Société Littéraire et Philosophique de Manchester

H. J. FLEURE

On a souvent discuté de l'influence de la science sur l'évolution des croyances religieuses, mais le phénomène inverse, l'influence de la religion sur l'évolution de la science, n'a pas toujours joui de la même attention. Comme le montre l'auteur, l'histoire de la Société Littéraire et Philosophique de Manchester, l'une des plus anciennes sociétés scientifiques de Grande-Bretagne, remonte jusqu'à la tentative d'uniformisation des croyances religieuses en Grande-Bretagne qui eut lieu en 1662.

C'est au XVIIème siècle surtout que des penseurs ont compris pour la première fois qu'on peut, ou plutôt qu'on doit, rechercher la vérité par l'observation et l'expérience, et qu'Aristote lui-même n'était pas une autorité indiscutable. A une époque où régnaient des dogmes profondément ancrés, accompagnés des persécutions d'usage, cette importante notion amena les chercheurs à se grouper pour échanger leurs idées et s'encourager mutuellement. En Grande-Bretagne, après l'œuvre de Bacon et de Harvey, l'exemple le plus frappant est celui du groupe qui devait, avec le temps, former le noyau de la *Royal Society*. En 1662 la société reçut sa charte du roi Charles II. L'Acte d'Uniformité, qui devait établir des croyances et des pratiques uniformes pour l'Eglise Episcopale Etablie, entra en vigueur en 1662. Nombre de membres du clergé furent chassés de leur cure, notamment John Chorlton de l'église paroissiale de Manchester (aujourd'hui la cathédrale). Comme bien d'autres ministres expulsés, il fonda une congrégation dissidente.

Les groupes dissidents du XVIIème siècle s'intéressaient vivement à la théologie calviniste et à son arrière-plan philosophique. Ils constituaient donc en quelque sorte la continuation de la scolastique médiévale, en dehors des églises plus formellement autoritaires. Lorsque la tolérance s'accrut un peu après la révolution de 1688, le groupe de Chorlton édifia en 1694 la Chapelle de Cross Street à Manchester, un établissement presbytérien, et Chorlton prit Henry Newcome comme pasteur assistant. Les universités traditionelles et les écoles primaires étaient exclusivement épiscopales et le restèrent longtemps, aussi les groupes furent-ils forcés d'envisager l'enseignement hors de ces barrières et de reconnaître, nominalement au moins, la liberté de conscience et, partant, la liberté de discussion. En 1699 Chorlton et Newcome organisèrent un enseignement universitaire dans une grande maison à Deansgate, comprenant cinq années d'études d'Arts et de Théologie. C'était une des premières académies.

Les étudiants de l'académie de Manchester recevaient l'enseignement de Chorlton et de Newcome, et se servaient de la bibliothèque de Cheetham. James Coningham, un autre ministre dissident, devint professeur après la mort de Chorlton; mais l'intensification de la politique tory sous la reine Anne le fit menacer de poursuites, «parce qu'il tenait une académie publique»: il s'enfuit à Londres en 1712, et l'Académie de Manchester cessa de fonctionner.

Le professeur R. T. Jenkins,[1] historien de l'école et de l'académie de Carmarthen, a décrit les caractéristiques de l'enseignement dans les académies du XVIIIème siècle:

1. Prépondérance accordée aux mathématiques et à la science.
2. Introduction dans les cours de philosophie de systèmes qui n'avaient pas encore reçu droit de cité à Oxford, tels que ceux de Locke et des philosophes écossais.
3. Connaissance approfondie de l'hébreu exigée des candidats pasteurs.
4. Emploi de l'anglais au lieu du latin comme langue véhiculaire pour l'enseignement.

Une académie très importante fondée à Warrington en 1757 dura jusqu'en 1783 environ. La réputation de cette académie semble due à Joseph Priestley, qui fut pasteur à Cross Street, enseigna à Warrington (1761–7), et s'installa à Leeds. Parmi ses élèves notons Thomas Percival, le fondateur de la Société Littéraire et Philosophique de Manchester (1781) et de la seconde

[1] R. T. Jenkins, *History of Carmarthen*, édité par le professeur Sir John Edward Lloyd, vol. ii, p. 237 (1939).

Académie de Manchester (1786), qui remplaça l'institution défunte de Warrington. Percival naquit à Warrington en 1740 d'une famille de médecins dont les revenus lui permirent de voyager sur le continent et d'y suivre les cours des universités. Il fut élu à la *Royal Society* de Londres alors qu'il n'avait que 25 ans. Il semble s'être fait remarquer plutôt par sa culture générale et par sa dignité que par une originalité exceptionnelle dans ses recherches.

Les groupes dissidents et les académies du XVIIIème siècle s'occupaient plus spécialement de discussion, et la scission habituelle entre la tournure d'esprit libérale et l'autoritaire se manifesta parmi eux. La première tendait vers l'unitarisme, ou presbytérianisme non-conformiste; ce groupe crût en importance sinon en nombre, parmi les intellectuels de l'Angleterre et de l'Irlande du Nord et de la Nouvelle Angleterre; il en fut de même d'un autre sous l'influence de Carmarthen, surtout dans le sud-est du Cardiganshire. Les autoritaires étaient portés à réagir contre la doctrine unitaire, et nous trouvons des groupes de Calvinistes et d'Arminiens insistant sur le dogme de la Trinité.

Les académies et les autres écoles basées sur la liberté de conscience devinrent plus particulièrement unitaires sous l'influence de ces courants de controverse, et la Chapelle de Cross Street devint unitaire en fait, tout en gardant l'étiquette du presbytérianisme. Percival, en loyal disciple de Priestley, eut un rôle prépondérant dans ce développement. Après avoir quitté Warrington, Priestley séjourna un an à Leeds (1767–8), puis à Birmingham, où se créa une « Société Lunaire »: le nom vient de ce qu'elle se réunissait lors de la pleine lune — indice intéressant de la difficulté de circuler en ce temps-là. Des sociétés semblables existaient dans d'autres villes, à Bristol, Dublin, Edimbourg et Norwich, mais celle de Birmingham était particulièrement importante parce qu'elle comprenait Erasmus Darwin, Boulton, Watt, Priestley et Wedgwood. On a dit qu'elle était trop forte pour durer; à la mort ou au départ de ces penseurs célèbres la société disparut. Il y a lieu de croire qu'un groupe officieux se réunit à Manchester pendant quelques années dans la maison de Percival à King Street, et que son ami Thomas Barnes, pasteur de la Chapelle de Cross Street et disciple de Priestley, en fut un membre actif. Notons, à titre d'indication sur les activités de ce groupe, la proposition de Percival d'établir de façon plus exacte et plus complète des Listes de la Mortalité à Manchester (1773), et l'intérêt qu'il porta à l'amélioration des registres paroissiaux dans le même sens: ses efforts aboutirent en 1796 à la création du service d'Hygiène de Manchester. En 1781 le groupe de Percival se mua en Société Littéraire et Philosophique de Manchester, sous la présidence conjointe de Peter Mainwaring et de James Massey, bailli de Salford. Les premières réunions eurent lieu à l'*Assembly Coffee House*, mais avant la fin de 1781 la Chapelle de Cross Street était devenue leur siège régulier. On croit que Percival fut un des premiers médecins à prescrire l'huile de foie de morue dans les cas de menace de tuberculose; il succéda à Mainwaring en 1782, et fut le seul président de 1789 jusqu'à sa mort en 1804. La nouvelle société jouissait d'une certaine autorité: en effet, lorsque une académie fut fondée à Manchester pour continuer l'œuvre commencée à Warrington, ses dirigeants furent appelés au conseil d'administration de l'académie en signe de déférence.

Les mémoires discutés aux réunions de la société touchaient à des sujets très variés, mais on en remarque surtout un de Charles White concernant le développement graduel des formes animales. Il voyait clairement cette gradation, mais refusait d'admettre l'idée d'une évolution de ces formes. Le Dr Aikin traita de « La Vie aux Hautes Latitudes » et trouva les causes du scorbut. Alexander McDougall décrivit l'usage de l'acide phénique pour guérir les blessures.

Une médaille d'or de 7 guinées fut offerte pour le meilleur mémoire expérimentel concernant les Arts et Métiers, présenté avant le 31 mars 1785, et une médaille d'argent de 1 guinée à tout membre de moins de 21 ans pour le meilleur mémoire en littérature ou en philosophie. E. H. Delaval gagna la médaille d'or avec son mémoire sur « La Couleur Permanente des Corps Opaques ». Thomas Henry (plus tard le Docteur Henry) remporta la médaille d'argent avec sa relation de « La Controverse entre Henry Cavendish et Richard Kirwan sur les Causes de la Diminution de l'Air Ordinaire dans les Processus Phlogistiques ».

En 1793 l'Académie de Manchester résolut d'offrir un poste de professeur à John Dalton, et en 1794 il se joignit à la société. Avec l'aide de cette brillante intelligence la société progressa de façon remarquable, et l'on a calculé qu'au cours de ses cinquante années comme membre, il y présenta 116 mémoires, dont 26 furent publiés. Dalton fut secrétaire en 1800, vice-président en 1808, et président de 1819 jusqu'à sa mort (1844).

FIGURE 1 – *La chapelle de Cross Street, où se tinrent les premières réunions de la société.*

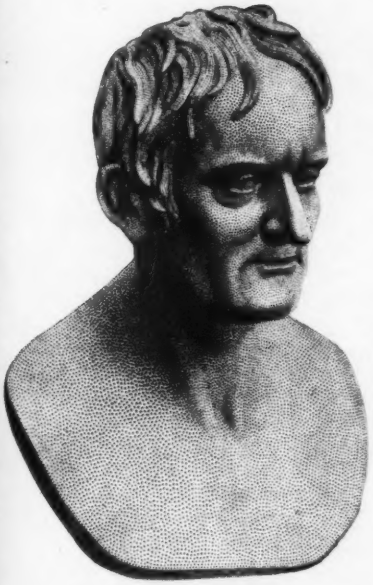


FIGURE 2 – *John Dalton.*
(*Des* Memoirs of the Life and Scientific Researches of John Dalton, *par W. C. Henry*)

FIGURE 3 – *Quelques appareils de Dalton, détruits lors de l'attaque aérienne du 23 décembre 1940.* (*Du* Makers of Chemistry, *par E. J. Holmyard*)

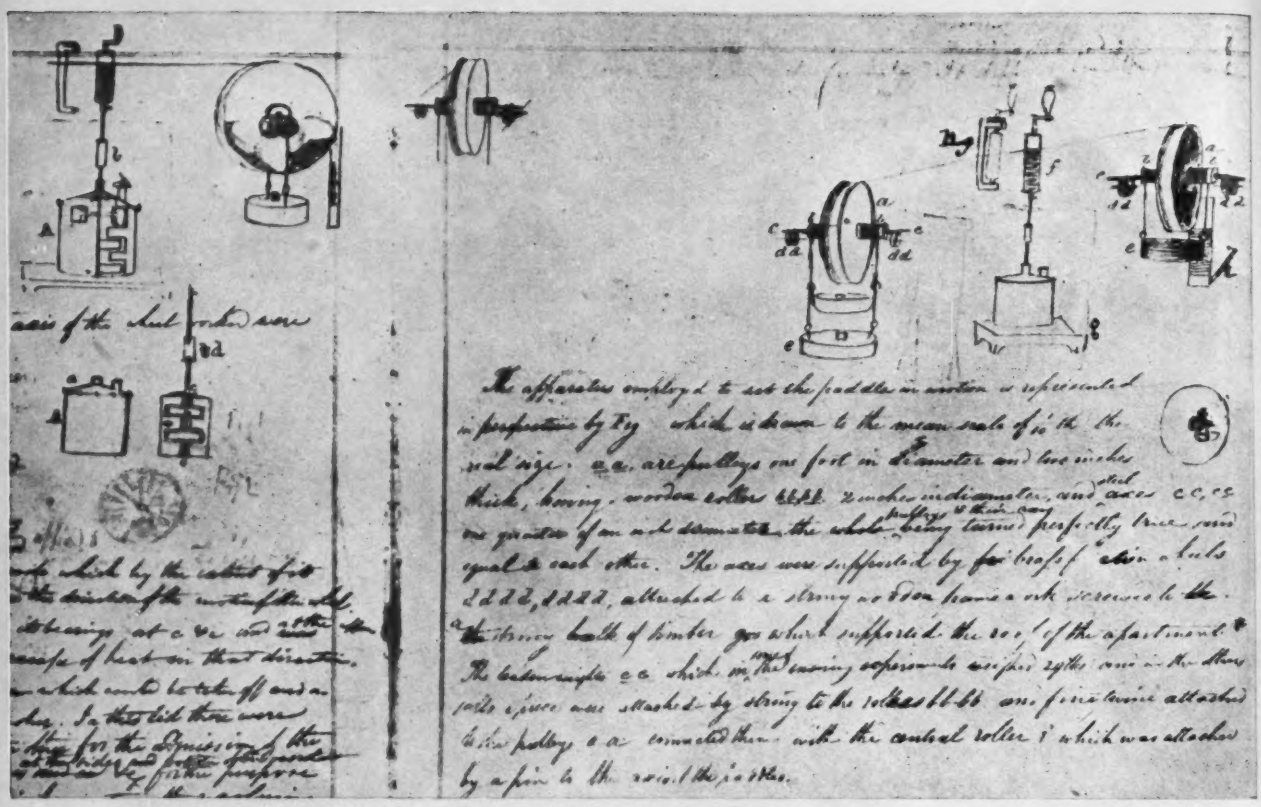


FIGURE 4 – *Copie d'une page d'un cahier de Joule, où il a dessiné et décrit ses plans pour la détermination finale de l'équivalent mécanique de la chaleur.*

Peu après son admission il présenta son premier mémoire bien connu sur les degrés dans le daltonisme, basé sur son propre trouble visuel. Le traité de météorologie de Dalton est une autre œuvre de pionnier de sa jeunesse: il poursuivit jusqu'au bout l'étude de ce sujet, et son dernier mémoire concerne le climat de Manchester. Son œuvre la plus importante fut l'énoncé de la théorie atomique: une étude des travaux de Dalton dans ce domaine fut publiée par le Dr Andrew Meldrum dans les Mémoires de la Société pour les années 1910–11 (vols. li vet lv, nouvelle série).

En 1799 la société acheta pour £600 une maison au 36 George Street. Dalton y eut une chambre pour travailler et enseigner. Comme l'Académie de Manchester se déplaça à York en 1803 et ne revint pas à Manchester avant 1840 (pour repartir en 1853, d'abord à Londres, puis au Manchester College d'Oxford), l'appui donné à Dalton était sans aucun doute d'un ordre très concret; aussi est-ce à ses travaux que la société devait presque tout son prestige.

Retournant aux débuts de la société, nous trouvons un autre nom qui allait devenir célèbre. Le jeune Robert Owen assista pour la première fois à une réunion en 1793, alors que le Dr Guthrie présentait un mémoire sur la nature et la culture du coton persan, et Owen fut invité à participer à la discussion, ce qui montre qu'on commençait à connaître ses travaux sur le perfectionnement de la filature des filés de coton fins. Lors de son séjour à Manchester il présenta à la société des mémoires sur le progrès de l'industrie cotonnière (1793), sur l'utilité de l'étude (1793), sur le rapport entre le bonheur universel et la mécanique pratique (1795), et sur l'origine des idées relatives au perfectionnement des vertus sociales (1796). Ils indiquent au moins le genre des idées qui devaient produire plus tard des résultats pratiques si intéressants. Thomas Barnes, premier secrétaire et pasteur de la Chapelle de

Cross Street, avait certainement un esprit social avancé pour son époque; on attribue l'idée de « l'Institut de Mécanique de Manchester » à un mémoire qu'il présenta à la société. L'institut fut fondé en 1824, et est l'origine du *College of Technology* actuel.

Jusque vers 1840 les sujets abordés étaient fort divers, bien que Dalton fût peu enclin, semble-t-il, aux vagues discours littéraires. H. H. Watson publia un travail sur l'efflorescence des sels de soude; W. Fairbairn (plus tard Sir William) publia des données numériques sur la résistance de la fonte; d'autres mémoires traitaient de « la pomme de terre de Rohan », de la poire de Jargonelle, du charbon du sud du Lancashire, des caractères babyloniens ou cunéiformes, etc.

En 1842 J. P. Joule devint membre de la société; quatre ans plus tard il en était secrétaire honoraire. En science, les temps changeaient rapidement. La spécialisation s'étendait à vue d'œil. Par suite, les mémoires littéraires et artistiques se firent rares aux réunions de la société et ils le restèrent jusqu'en 1930 environ, lorsque le secrétaire honoraire W. B. Wright s'efforça de les réintroduire.

La société souffrit bientôt de ce que les mémoires qui lui auraient été adressés auparavant étaient envoyés de préférence aux sociétés spécialisées ayant un statut national, ou à la *Royal Society*. L'*Owens' College*, largement doté par John Owens, fut fondé en 1851, et au début certains de ses professeurs, notamment W. C. Williamson, s'intéressaient vivement à la société, mais l'institution devait encore gagner de l'importance et du prestige. On sentait de plus en plus que des travaux spécialisés risquaient de passer inaperçus s'ils étaient publiés dans les mémoires et les procès-verbaux d'une société aux tendances aussi générales que la « Lit. et Phil. » Il semble que les administrateurs et les lecteurs de mémoires n'aient eu qu'une faible idée du travail de défrichement réalisé par l'œuvre de Robert Owen avec ses études sur le bien-être social et par celle de Thomas Barnes avec ses projets éducatifs.

Henry Wilde, inventeur d'une dynamo et de projecteurs perfectionnés et d'autre outillage électrique, agrandit la maison de George Street et donna £10.000 à la société: l'intérêt de cet argent permit de rétribuer un secrétaire et de couvrir partiellement les frais des mémoires. La maison était alors devenue un des édifices historiques de Manchester, avec une belle salle commune dont le mobilier était attribué à Sheraton, des portraits à l'huile de Newton, Davy, Dalton, Joule, Percival et d'autres, et des dessins de Dalton illustrant la théorie atomique, ainsi qu'une grande collection de portraits d'hommes de science offerte par le Dr Francis Jones en souvenir de son père, secrétaire honoraire de 1896 à 1906 et président de 1910 à 1911. Il y avait plusieurs appareils de Dalton, ses médailles (comprenant la médaille Copley de la *Royal Society*) et quelques thermomètres et autres instruments employés par Joule. Mais la plus grande richesse de la société était sa bibliothèque avec les longues séries de périodiques scientifiques et les publications telles que les Rapports Challenger, la série de la Société Paléontographique, la *Palaeontologia Indica* et bien d'autres. Les *Elements of English Grammar* de Dalton, qu'il publia en 1801, était une des possessions précieuses de la société, et il y avait beaucoup d'ouvrages rares. Après la guerre de 1914–18, Mr. R. H. Clayton, trésorier et président, consacra beaucoup de temps et des dons généreux à l'amélioration de la maison; le *Carnegie United Kingdom Trust* fit un don considérable pour la reliure des journaux de la société.

Le défaut de la société était de vivre sur son passé, et son rôle se bornait trop à l'entretien d'une maison devenue historique. En 1940 on lui conseilla de mettre ses trésors à l'abri dans ses caves, et ce conseil fut malheureusement suivi. L'attaque aérienne du 23 décembre 1940 sur Manchester causa un énorme incendie qui se propagea de Piccadilly et détruisit le 36 George Street de façon si complète que quelques objets à peine purent être retirés intacts des caves. La société fut maintenue en vie au cours des années de guerre 1939–45, et elle semble entrer dans une nouvelle phase à présent: l'université de Manchester, les citoyens partisans du progrès social et les grandes industries qui ont de plus en plus besoin de contacts scientifiques pour leur personnel, tous y ont un rôle à jouer. La « Lit. et Phil.» s'était posée depuis le début en championne de la liberté de discussion et de la largeur d'esprit, et ces qualités sont toujours aussi précieuses que par le passé.

La coloration des animaux marins

T. A. STEPHENSON

On a étudié pendant de nombreuses années la nature fonctionnelle de la coloration biologique, mais la plus grande partie des observations et des expériences a été faite relativement aux animaux terrestres. Le Professeur Stephenson propose ici de nouveaux champs d'investigation que peut ouvrir l'étude de la coloration des animaux marins et expose l'état de nos connaissances actuelles. Il discute également de l'existence possible de systèmes de coloration ne se rattachant pas à des fonctions physiologiques ou écologiques.

Pendant de nombreuses années, on a publié des rapports sur les fonctions de la couleur et du dessin chez les plantes et les animaux; cependant, bien que cette littérature soit considérable, elle paraît peu importante comparée à celle des autres branches de la biologie. Ainsi, tandis que la bibliographie du récent ouvrage de H. B. Cott (1940), *Adaptive Coloration in Animals*, comprend 685 références, celle de *Chemical Embryology*, de J. Needham, en comprend environ dix fois autant. En ce qui concerne le règne animal, cette littérature a atteint son plus haut point avec l'ouvrage magistral de Cott cité plus haut. Ceci nous permet de voir très clairement ce qui a déjà été réalisé et montre que les connaissances déjà acquises sont, à certains égards, plus importantes qu'elles ne paraissaient. On peut admettre que les systèmes de couleurs et de dessins qui dissimulent, mettent en valeur ou déguisent leurs propriétaires, sont d'une importance fondamentale dans la vie des animaux.

Un jour différent jaillirait peut-être de l'étude plus approfondie des couleurs et des dessins des animaux aquatiques que de celle des animaux terrestres, parce qu'ils appartiennent à un domaine assez différent et bien moins connu. On se rend compte d'après le livre de Cott, qui est une fidèle image de la littérature relative à cette question, qu'ils ont été assez négligés. Bien qu'il se réfère aux animaux marins (et, en particulier, aux poissons) chaque fois que l'on sait quelque chose à leur sujet, le livre traite surtout d'animaux terrestres. Ce fait est mis en évidence, par exemple, dans le cas des références aux coelentérés, qui n'apportent pas grand'chose aux conclusions de l'ouvrage mais qui fournissent l'un des champs les plus riches pour l'étude de la couleur dans le règne animal. Cette remarque n'est pas une critique mais un simple commentaire sur l'état de nos connaissances.

Des questions intéressantes et variées se posent au sujet des animaux aquatiques. Pourquoi les animaux d'eau de mer ont-ils si souvent de brillantes couleurs et les animaux d'eau douce sont-ils si souvent ternes? Tous les principes dont on a montré l'effet sur la coloration des animaux terrestres s'appliquent-ils réellement aux animaux marins? Expliquent-ils complètement ou en partie seulement, ce que nous voyons dans la mer? Y a-t-il d'autres principes valables pour la mer et non pour la terre?

Une méthode d'étude qui peut s'avérer très fructueuse est de se demander jusqu'à quel point la couleur et le dessin sont indépendants de la vie de l'animal. Ceci mènerait à une étude de la signification réelle des systèmes de couleur non fonctionnels. Ici encore, il est possible que la mer fournisse de meilleurs exemples que la terre. Bien que les auteurs aient reconnu depuis longtemps qu'il existait plusieurs types de coloration auxquels on ne peut pas attribuer de signification fonctionnelle dans l'état actuel de nos connaissances, ils ont jusqu'ici concentré leur attention sur les types auxquels il a été possible de rattacher une fonction.

Les animaux marins présentent des types de coloration totalement ou partiellement explicables, et des types jusqu'à présent inexplicables. Les oursins de la planche II et les buccins de la planche III montrent des exemples de coloration due à l'influence de la température de la mer dans un cas et aux ressources alimentaires dans l'autre. Toutefois dans le premier cas, nous ne savons pas comment la température influe sur la couleur, et dans le second il y a probablement plus de diversité que ce qui peut s'expliquer par l'alimentation. Les oursins en question possèdent de brillantes couleurs dans toute la partie sud (chaude tempérée) de leur habitat géographique. Dans la partie nord de la côte occidentale de l'Afrique du Sud, où l'eau est plus froide, la variété pâle commence à dominer et les variétés

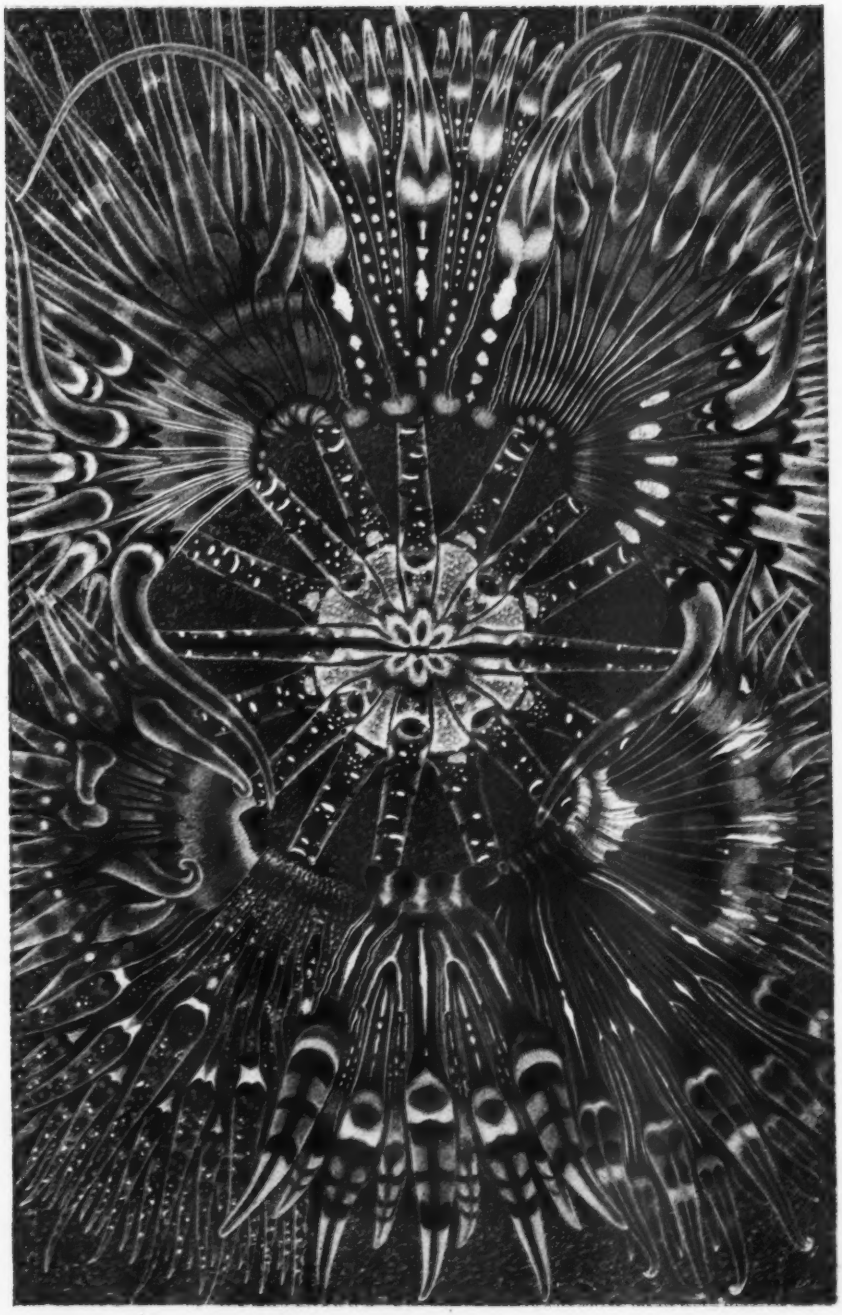


PLANCHE I – *Agrandissement de la structure des dessins observés sur le disque et les tentacules de onze espèces d'anémones de mer. Excepté le motif central, qui montre le disque entier et les parties à la base des tentacules de l'espèce* Edwardsia *(avec une ligne sombre marquant l'axe directeur), chaque figure représente seulement un secteur du disque, partant de la bouche de l'anémone, avec les tentacules qui y appartiennent. Les différents secteurs sont disposés de façon à faciliter la comparaison des dessins entre eux.*

(Reproduit d'après The British Sea Anemones, *par T. A. Stephenson, avec l'autorisation de la Ray Society)*

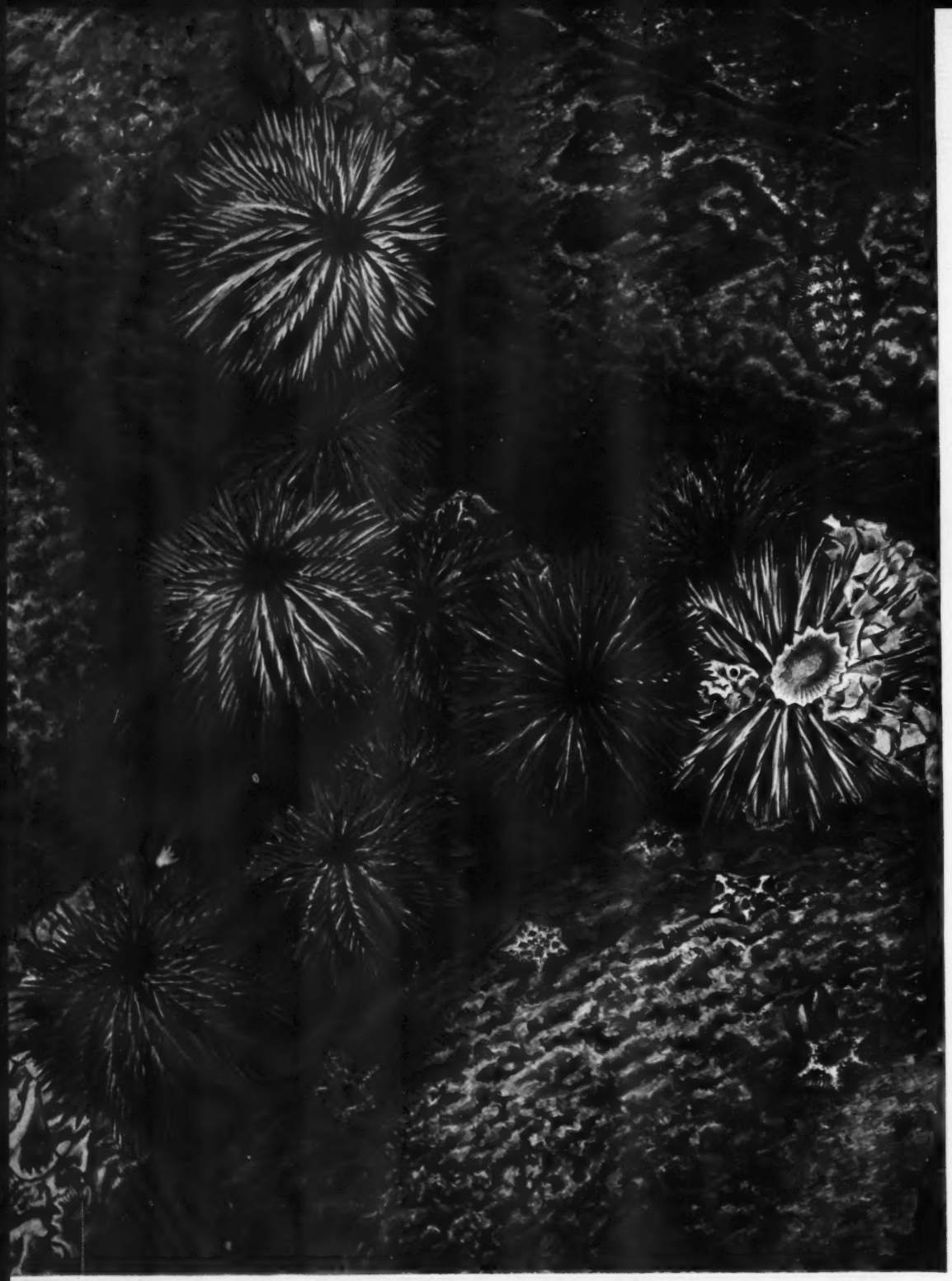


PLANCHE II – *Un groupe d'oursins* (Parechinus angulosus) *dans un bassin rocheux de la False Bay, Afrique du Sud. La couleur rouge pourpre du roc est due à l'incrustation d'une algue calcaire. Les petits objets pentagonaux dans la partie basse de la planche représentent des spécimens d'une étoile de mer* (Asterina exigua) *qui change aussi de couleur, suivant la température de l'eau, dans les différentes parties de la côte.* (*Voir page* 152.)

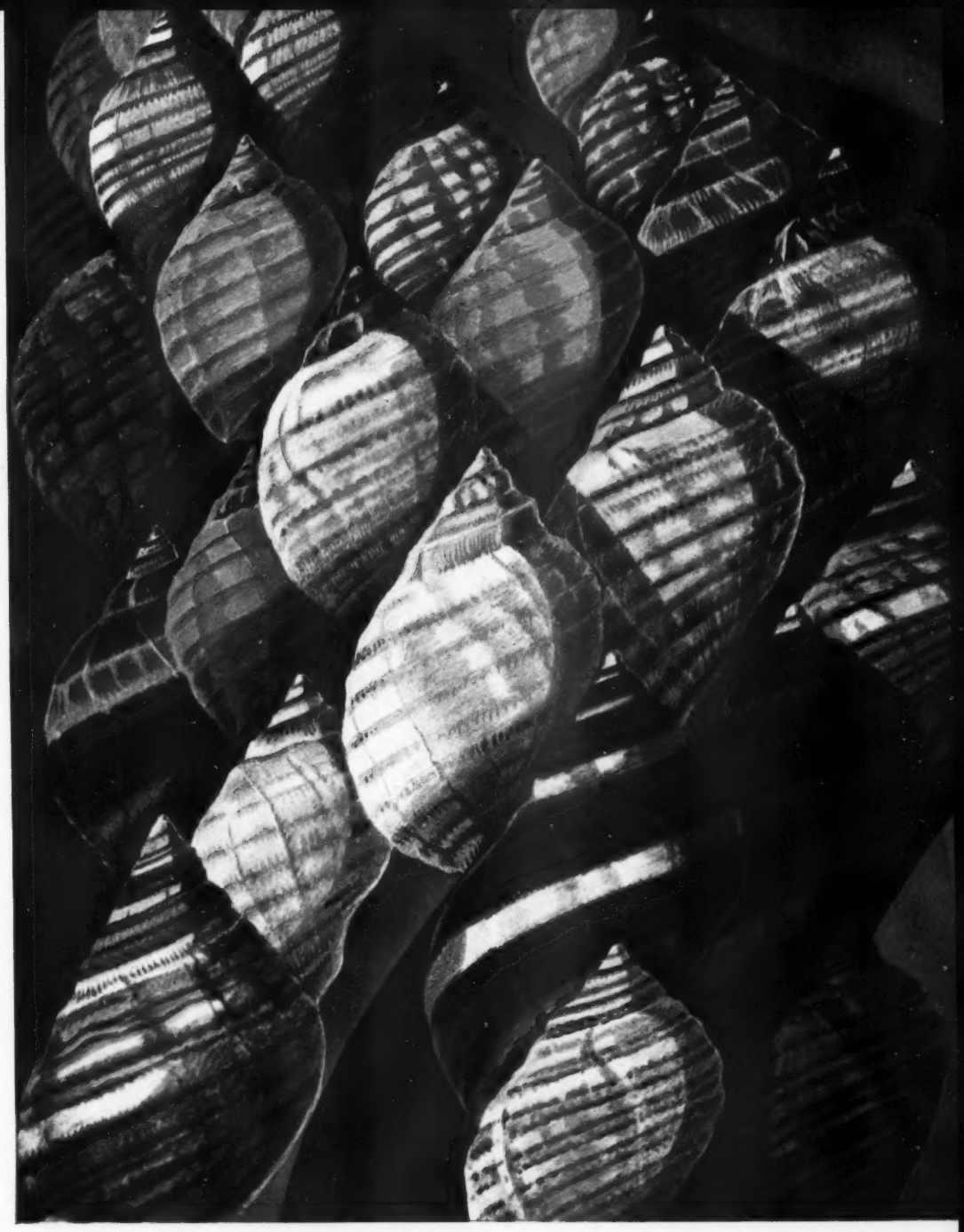


PLANCHE III – *Une série de coquillages de buccins de la côte anglaise, le* Nucella (Purpura) lapillus, *montrant quelques-unes des variations de couleur qui se produisent dans cette espèce.* (*Voir pages* 153 *et* 158.)

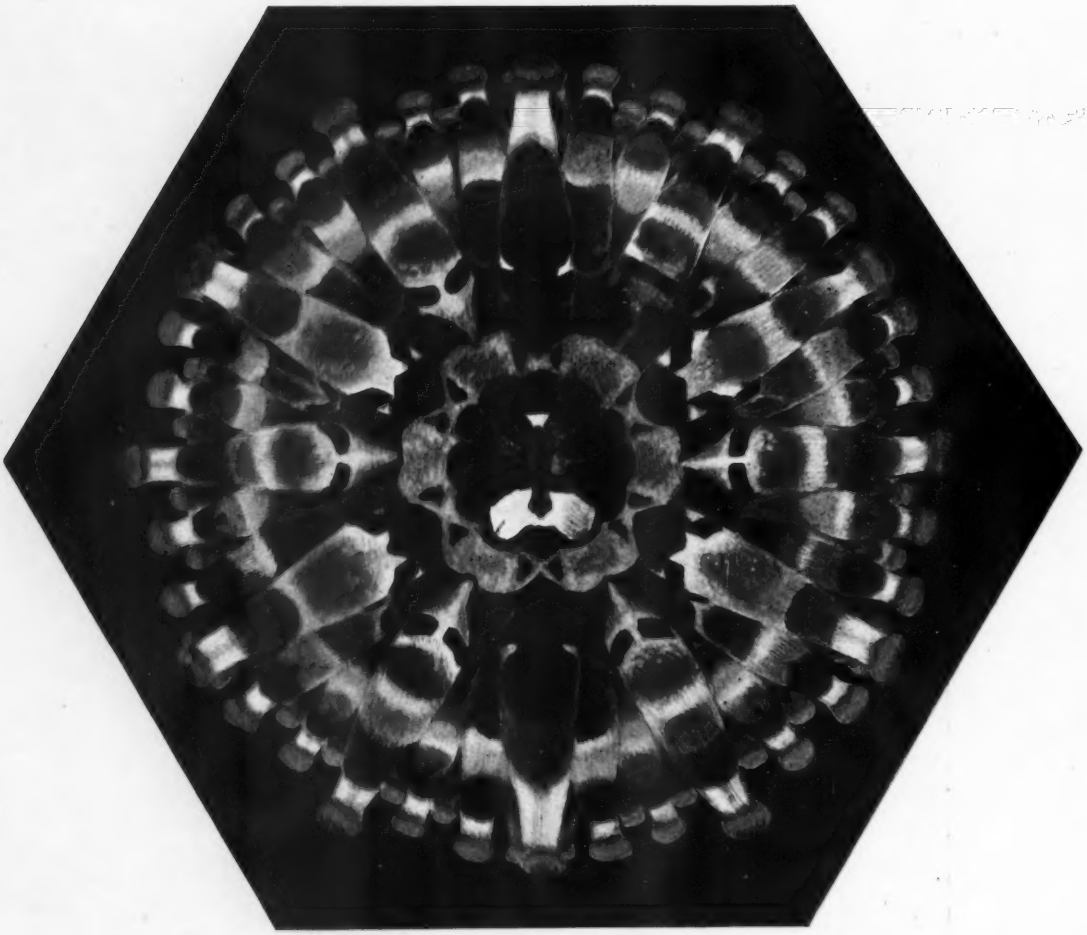


PLANCHE IV – *Disque et tentacules de l'anémone de mer trouvée dans les interstices de coraux dans le Great Barrier Reef, Australie (environ deux fois la grandeur naturelle). Quelques-unes des caractéristiques du dessin réalisé par ce spécimen sont représentées figure 2. Le dessin correspond aux axes structuraux de l'animal avec une précision mathématique, et la coloration le long de l'axe directeur (vertical dans la figure) diffère de celles des autres rayons par le fait qu'il y a des marques d'un blanc opaque aux extrémités opposées de la bouche, et que les deux tentacules primaires qui se trouvent le long de cet axe sont d'une couleur beaucoup plus sombre que les autres. Cette modification du dessin le long d'un axe prise avec une imperfection de dessin dans un secteur (à droite de la tentacule supérieure, lettre* H, *figure* 2) *a pour effet de « rompre » l'apparence générale de l'animal tel qu'il est vu de son vivant, détournant dans une certaine mesure le regard de l'aspect très régulier présenté par le reste du dessin.*

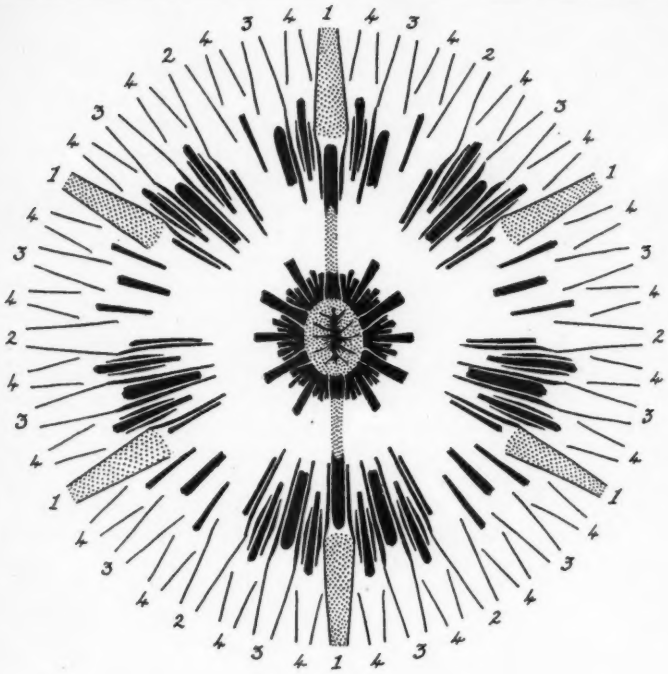
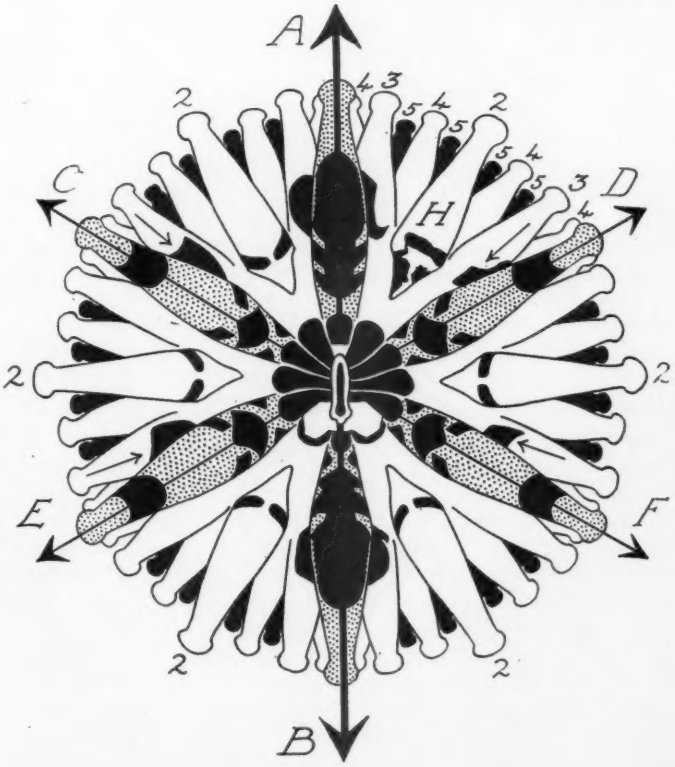


FIGURE 1 – *Diagramme illustrant l'ordonnancement bilatéral du dessin sur le disque d'un spécimen de l'anémone de mer* Calliactis parasitica. *Les marques radiales qui, chez l'animal vivant, paraissent d'un crème opaque sur fond blanc, sont représentées ici en noir sur fond blanc. Les six tentacules primaires sont parsemées de points; les rayons directeurs et la bouche le sont également pour mettre en évidence l'axe directeur. Seuls sont représentés les quatre petits cercles intérieurs de tentacules, et le cercle auquel se rattache chacune d'entre elles est indiqué par un numéro. Il faut noter que les six groupes de taches pâles n'ont pas pour centres les six tentacules primaires; au contraire, tandis que deux d'entre eux (l'un plus grand que l'autre) ont pour centre les tentacules directrices, les quatre autres sont centrés autour des tentacules de la troisième série, et sont disposés d'une façon symétrique, sous l'influence de l'axe directeur. Les taches pâles les plus remarquables individuellement ne sont pas au nombre de six mais de sept, et se rencontrent sur des rayons tertiaires disposés symétriquement, en ajoutant le rayon directeur supérieur.*

(*Reproduit d'après* The British Sea Anemones, *par T. A. Stephenson, avec l'autorisation de la Ray Society*)

FIGURE 2 – *Diagramme faisant ressortir quelques-unes des caractéristiques du dessin du disque et des tentacules de l'anémone planche IV.* AB = *axe directeur;* C, D, E, F = *axes primaires non directeurs. Tentacules primaires et rayons recouverts de points.* 2 = *tentacule secondaire;* 3–5 = *tentacules des cercles extérieurs, numérotées dans un seul secteur.* H = *tentacule à la base de laquelle le dessin n'est pas achevé normalement. Les quatre petites flèches dirigées vers l'intérieur montrent des taches de couleur sombre qui sont disposées d'une façon symétrique par rapport à l'axe directeur mais ne sont pas symétriques par rapport aux rayons primaires. Des taches similaires flanquent les tentacules directrices. Les petites tentacules du cercle le plus extérieur (le cinquième) ne se rencontrent pas tout au long de la périphérie (s'il en était ainsi, il y en aurait quarante-huit, alors qu'il y en a réellement vingt-quatre), mais seulement dans la partie de chaque secteur entourant une tentacule secondaire; il y a une exception à la règle seulement dans un secteur, celui dans lequel il y a deux tentacules additionnelles (qui ne sont pas montrées).*



écarlates et violettes se font rares ou sont totalement absentes. Dans la partie nord de la côte orientale, où l'eau est subtropicale, les couleurs brillantes disparaissent de nouveau et les spécimens sont tous de nuances rougeâtres et verdâtres ternes. H. B. Moore a démontré que dans le cas des buccins, les pigments produisant des types de coloration rose et lilas, brun et noir, proviennent des moules dont ils se nourrissent et que ces types ont un rapport étroit avec la quantité de moules entrant dans le régime. On n'a pas démontré de rapport entre le régime et la coloration jaune de certains individus, mais on pense qu'elle est indirectement affectée par l'intensité des vagues auxquelles sont soumis les animaux. Des exemples du type « inexplicable » sont donnés dans les deux autres planches et ils sont décrits en détail ci-dessous. On peut également citer un exemple qui ne figure pas ici, mais qui a été étudié par Fox et Pantin, c'est l'anémone de mer *Metridium dianthus*, une espèce importante où l'animal est parfois totalement blanc, parfois complètement orange et parfois brun avec d'autres couleurs. En conclusion de leur étude ces auteurs considèrent que les couleurs du *Metridium* peuvent être en un sens « dépourvues de signification » et que « les vives couleurs des anémones sont peut-être un signe d'absence de certaines contraintes extérieures plutôt qu'une adaptation fonctionnelle ». C'est une conclusion courageuse, parce qu'on admet trop souvent que toute coloration doit être le fait direct d'une fonction physiologique ou écologique. Il est néanmoins possible qu'une investigation plus poussée des types en apparence non fonctionnels, ou tout au moins inexpliqués jusqu'à présent, puisse conduire, si elle est poursuivie avec un esprit libre, à une idée plus exacte de la situation.

La coloration des anémones constitue un champ d'étude très fertile, parce que ces animaux sont répandus, qu'on les conserve facilement vivants pour les employer à des expériences et qu'ils font preuve d'une complexité de dessins dont l'importance est réalisée par très peu de gens et que personne ne comprend d'une manière parfaite. Certaines anémones sont d'un coloris assez simple, le corps et les tentacules de la même couleur, ou le corps d'une couleur et les tentacules d'une autre, sans taches spéciales. D'autres possèdent des taches de formes et de couleurs variées, semblables à de la mosaïque, ces taches pouvant être aussi travaillées que le dessin d'un tapis de Perse. Les planches I et IV en montrent des exemples. Ils ont quelques caractéristiques très remarquables. L'anémone elle-même a un corps cylindrique recouvert d'un « disque » circulaire, au centre duquel se trouve la bouche; la partie périphérique du disque porte des tentacules rayonnantes. Le disque lui-même présente des lignes rayonnantes, qui sont toute la partie extérieure visible des organes intérieurs ou « mésentères ». Ces traits saillants — un centre, des lignes rayonnantes et un cercle — constituent tout le dessin. Des marques de formes variées, qui ont un rapport étroit avec ces traits, sont disposées avec une précision mathématique. Le dessin n'est nullement déterminé dans les détails par ces marques visibles seules, mais l'est encore par des rayons invisibles et des cercles concentriques parallèles aux éléments visibles. Chaque espèce d'anémone présente un dessin particulier qui en est la caractéristique, mais ce dessin n'est qu'un thème qui peut prêter à de nombreuses variations. De même qu'un motif unique peut être imprimé sur une étoffe de couleurs différentes, de même l'anémone peut varier de couleur. Egalement, le motif peut varier sous d'autres rapports. Certains de ses traits distinctifs peuvent être appuyés lourdement et d'autres indiqués légèrement, certains encore laissés complètement de côté; le contour de chaque élément de l'ensemble est susceptible de changer; le tout peut être tacheté de petits points irréguliers ou être modifié par l'impression de zônes plus grandes de teintes différentes au travers des diverses parties du motif. Tous ces procédés sont utilisés par des anémones particulières de la même espèce employant toujours le même thème de base. Parfois, un individu abandonne complètement le modèle et est d'une ou de plusieurs teintes uniformes. Naturellement, ces variations produisent des effets différents, les uns remarquables et saisissants, les autres insignifiants et tendant à se confondre avec le fond. La situation se complique du fait que des individus remarquables (c'est-à-dire d'un blanc et d'un orange éclatants) et des individus insignifiants (c'est-à-dire d'une mosaïque compliquée de bruns) appartenant à la même espèce se rencontreront dans le même bassin, dans des circonstances identiques, et ils peuvent se trouver en compagnie de types d'un blanc pur et d'un rose éclatant, appartenant encore à la même espèce. Cette coloration a-t-elle une valeur quelconque dans la vie de l'anémone? On ne peut répondre à cette question d'une façon définitive tant qu'on n'aura pas fait plus d'observations directes. Certaines indications, toutefois, font paraître la théorie fonctionnelle assez insuffisante et font penser que

l'explication doit être recherchée en partie ailleurs. On vient de mentionner la coexistence, dans le même bassin, d'individus présentant des colorations « de protection », et il faut rappeler que parmi les animaux qui se nourissent d'anémones quelques-uns sont doués d'un pouvoir visuel si limité qu'il ne peut être question pour eux de voir ces dessins. Disons encore que certaines anémones imitent leur milieu (elles peuvent, par exemple, avoir l'apparence de gravier) tout comme beaucoup d'animaux terrestres. Cet effet est facilement réalisé par un dessin tout à fait irrégulier, non mathématique, sans relations avec les caractères fondamentaux de l'animal. Pourquoi alors, s'il s'agit de simuler le gravier, tant de dessins sont-ils d'une telle complexité mathématique, quand le but peut être atteint simplement, sans complication? De plus, dans le groupe des anémones considéré en bloc, il existe beaucoup trop de dessins. Il est probable que plusieurs centaines d'espèces d'anémones présentent des dessins complexes et qu'il n'y en a pas deux semblables; et certaines sont extrêmement remarquables. La grande majorité fait probablement passer ces animaux inaperçus, mais pourquoi sont-ils mathématiquement si différents?

Le fait que ces dessins résultent automatiquement du dépôt périodique de pigments dans divers points des tissus au cours de la croissance de l'anémone explique peu de chose. Cette croissance réglée, prise seule, devrait produire parmi les différents individus d'une espèce, des résultats comparables quant aux couleurs, comme cela a lieu pour les détails de la structure anatomique. Mais ce n'est pas du tout le cas. Une analyse génétique éclairerait certains côtés du problème et dévoilerait le mécanisme lui-même plutôt que les causes. On estime généralement que si l'on rencontre certaines variations d'espèce dans une proportion suffisante d'individus, elle doit être avantageuse pour l'espèce, du moins dans la grande majorité des cas. Cette opinion est clairement exprimée ainsi que les raisons qui l'étayent, dans le récent ouvrage de E. B. Ford, *Butterflies* (Papillons) (1945). Les raisons sont séduisantes et convaincantes, et le but du présent article n'est pas de les discuter. Cependant, on a le sentiment que, de même que notre idée de l'interaction de la variation et de la sélection naturelle est maintenant une chose très différente de ce qu'elle était en 1900, les cinquante prochaines années pourront révéler de nouvelles influences, insoupçonnées jusqu'à présent ou mal connues, amenant une modification possible de la théorie courante et tendant à montrer que des variations neutres, quant à leur valeur actuelle, jouent un rôle plus important qu'on ne le suppose maintenant.

Un fait parfaitement clair au sujet de ces dessins est qu'ils dépendent de certains axes structuraux de l'animal d'une façon beaucoup plus essentielle qu'on ne le réalise généralement; c'est en suivant cette vue que l'on peut faire les progrès les plus intéressants. La plupart des anémones, lorsqu'on les regarde du dessus de la couronne tentaculaire (ainsi qu'il en est planche IV et figures 1 et 2), ont évidemment une symétrie radiale, et les rayons, bien qu'étant en nombre variable, sont le plus souvent des multiples de six, si bien qu'il y a six rayons principaux, le long desquels se rencontrent les six plus grandes tentacules (primaires). Alternant avec celles-ci, il y a six rayons et tentacules secondaires, douze éléments tertiaires et ainsi de suite, chaque espèce possédant sa propre disposition caractéristique. Néanmoins, il y a chez presque toutes les anémones un axe de plus, connu sous le nom d'« axe directeur », qui traverse toute la couronne tentaculaire (passant au travers de la bouche en forme de fente et le long de deux des tentacules primaires), divisant l'animal en deux moitiés égales.

Personne ne sait exactement ce qu'est l'axe directeur, mais on a montré qu'il était d'une importance fondamentale dans le développement, la croissance, et la régénération; et chaque structure intérieure et extérieure de l'animal y est rattachée. Il en résulte que la symétrie représente une fusion compliquée d'un dessin radial dépendant des tentacules et des mésentères, et d'un dessin bilatéral dépendant de l'axe directeur. La coloration du disque et des tentacules, ainsi que tout le reste, obéit à ce principe. L'exemple montré figure 1 (*Calliactis*) est particulièrement intéressant, car nous avons ici une anémone qui, par la disposition des tentacules et des mésentères, est partagée en six, aussi nettement et aussi régulièrement que n'importe quelle anémone connue; cependant, le dessin de taches couleur crème du disque a peu de rapport avec la base de six rayons: il n'est pas seulement en partie à sept rayons, mais, de plus, il se rattache avec beaucoup de précision à l'axe directeur. Ce sont des complexités mathématiques qui, on le sent, n'ont pas de signification fonctionnelle analogue aux formes évidentes que nous connaissons déjà, et elles devraient par conséquent offrir un champ particulièrement fertile à des études plus poussées.

L'amélioration des prairies et des pâturages de Grande-Bretagne

T. G. B. OSBORN

Le bon entretien des prairies dépend en dernier ressort de l'habileté du fermier et du soin qu'il prend de son sol, mais le généticien peut lui être très utile en produisant de nouvelles variétés de plantes herbacées adaptées aux conditions locales. Au point de vue biologique c'est un problème essentiellement écologique. Ce fait important a été clairement reconnu et appliqué par Sir George Stapledon et ses collègues auxquels sont dus en grande partie les progrès réalisés actuellement dans l'utilisation des herbages.

Les prés verts et les collines herbeuses sont des traits si marquants du paysage britannique que beaucoup de gens ont tendance à oublier que les prairies sont pour la majeure part dues à la main de l'homme. Elles existent parce que l'homme a appris à entretenir une collection de plantes herbacées capables de survivre et même de prospérer bien qu'elles soient régulièrement broutées ou fauchées. Une prairie n'est pas une communauté naturelle de graminées et d'autres plantes herbacées dépendant des facteurs climatériques et des conditions du sol: c'est l'ensemble de ces plantes et des animaux herbivores qui s'en nourrissent.

La végétation dominante en Grande-Bretagne au-dessous de 250 à 300 m d'altitude, et peut-être même plus haut, est sylvestre. Pendant des siècles, et dans le cas des Downs (les hautes terres calcaires du sud de l'Angleterre) depuis les temps préhistoriques, les habitants des îles britanniques ont abattu et détruit les arbres pour faire place aux prairies ou aux cultures.

Un exemple de la rapidité avec laquelle la prairie peut redevenir forêt, même sur sol arable cultivé depuis très longtemps, est fourni par la classique « Broad Balk Wilderness » de Rothamsted. En 1882 Sir John Lawes, désireux de voir ce qui en résulterait, ordonna de cesser de moissonner une bande de terrain en pleine production, traversant le haut de ses parcelles consacrées à la culture expérimentale du blé. En quatre ans le blé fut complètement éliminé par d'autres plantes; cette région est aujourd'hui une forêt de chênes accompagnés par le sous-bois habituel.

L'histoire de l'amélioration des pâturages en Grande-Bretagne est très longue. On commença à semer du ray-grass au XVIIème siècle, et l'introduction du trèfle rampant, une forme de trèfle blanc commun britannique (*Trifolium repens*), suivit peu après. Sinclair rapporte dans son *Hortus Gramineus Woburnensis* (1824) des expériences menées par le Duc de Bedford sur « le rendement et les qualités nutritives de diverses graminées et autres plantes utilisées comme aliments par les animaux domestiques ». On savait déjà à ce moment là que certaines espèces de graminées et de trèfles convenaient aux pâturages permanents, d'autres aux hautes terres arides, et d'autres à la culture alternée.

Les progrès réalisés aujourd'hui dans l'exploitation des herbages de Grande-Bretagne sont dus en grande partie à Sir George Stapledon et à ses collègues. Il a toujours insisté sur le fait que les problèmes en jeu étaient avant tout écologiques. Les progrès de la génétique végétale, qui ont conduit à la production de types spéciaux de graminées et de trèfles, ont fourni au fermier moderne un nombre beaucoup plus grand de plantes capables de donner des prairies gazonnées que celui dont disposaient ses prédécesseurs.

Les pâturages de Grande-Bretagne peuvent être divisés en trois catégories: les pâturages grossiers, les prairies permanentes, et les champs dans lesquels on fait pour un temps pousser de l'herbe. Les pâturages grossiers se rencontrent généralement aux hautes altitudes. Beaucoup d'entre eux sont des pâturages d'une grande importance pour les moutons ou le gros bétail, et leur utilisation joue un rôle important dans l'économie nationale. On peut juger de leur importance pour le pays si l'on réalise que pour l'Angleterre et le Pays de Galles ils couvrent environ 2½ millions d'hectares, en gros un sixième de la superficie agraire totale de ces deux pays. En Ecosse plus de 5 millions d'hectares sont classés sous la rubrique « pâturages de montagne et de landes ». Il n'est pas douteux qu'il soit

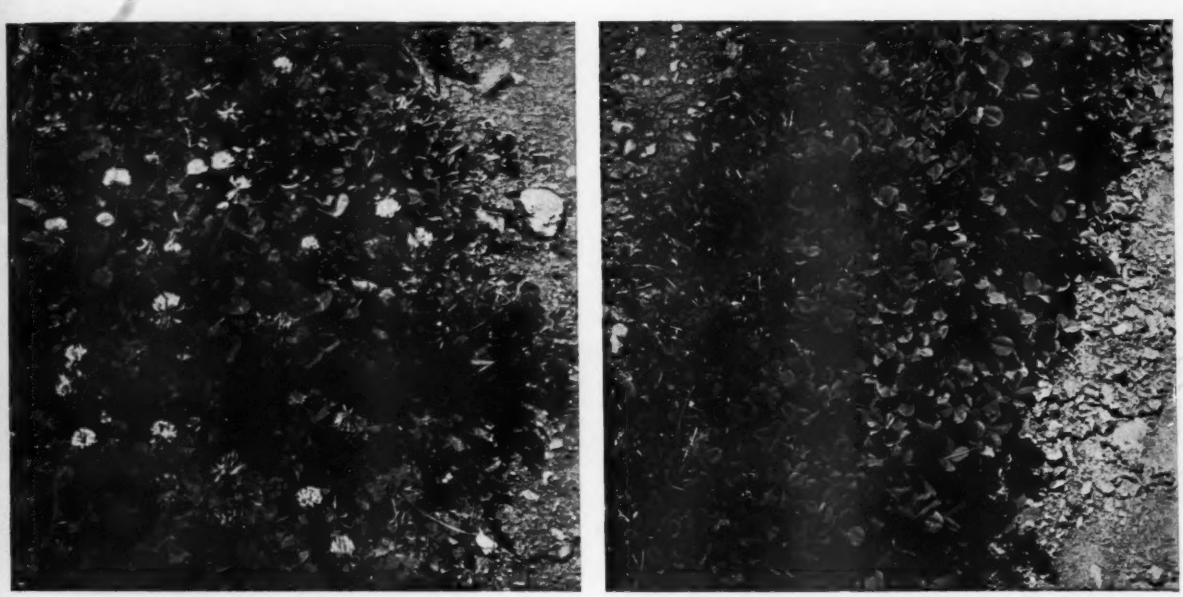


FIGURE 1 – *Souches de trèfle rampant d'Aberystwyth,* Trifolium repens, *S*100 (*à gauche*) *et S*188 (*à droite*). *On peut voir que la souche S*188 *a des pousses feuillues plus dressées et une floraison plus tardive.* (*Reproduit avec l'autorisation du Directeur du* National Institute of Agricultural Botany, *Cambridge*)

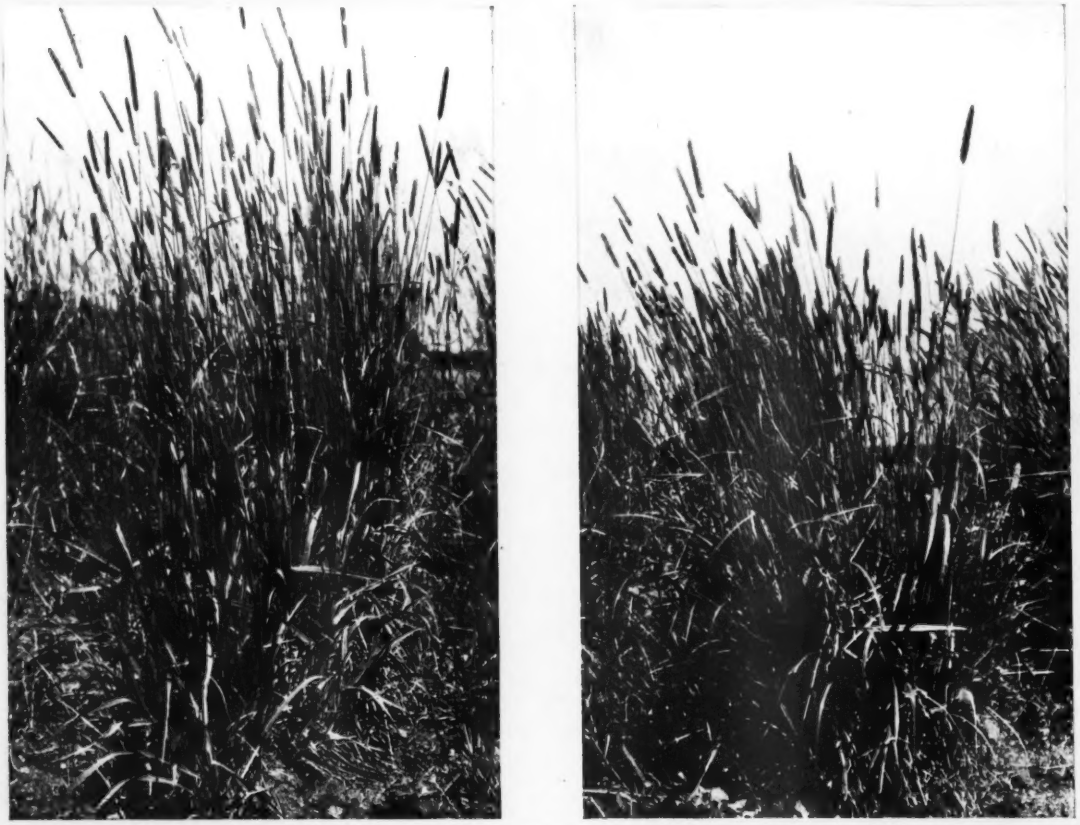


FIGURE 2 – *Deux souches de fléole fourragère,* Phleum pratense, *avec de longues tiges et des feuilles généralement peu nombreuses. A droite un type amélioré de fléole fourragère avec un feuillage considérablement augmenté, fournissant un poids beaucoup plus élevé de fourrage azoté.* (*Reproduit avec l'autorisation du Directeur du* National Institute of Agricultural Botany, *Cambridge*)

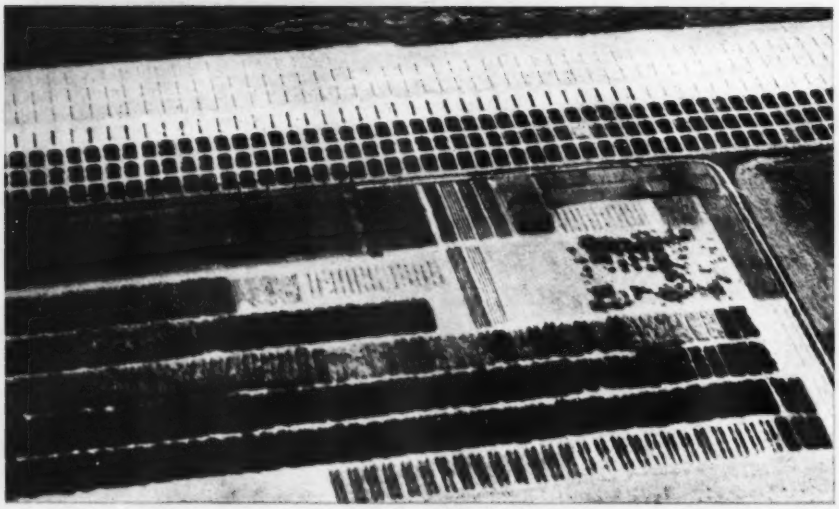


FIGURE 3 – *Photographie aérienne de parcelles expérimentales de graminées et de trèfles du* National Institute of Agricultural Botany, *à Cambridge.*
(*Reproduit avec l'autorisation du Directeur du* National Institute of Agricultural Botany, *Cambridge*)

FIGURE 4*a* – *Végétation naturelle non améliorée des collines du Pays de Galles, montrant les touffes de fougère grand aigle* (Pteridium aquilinum), *d'ajoncs* (Ulex nana), *et d'herbes grossières sans valeur alimentaire.* (*Entreprise d'amélioration de Cahn Hill.*)

FIGURE 4*b* – *Champs de pâturages voisins des précédents améliorés après versage, fumure du sol, et ensemencement avec des graines de graminées fourragères et de trèfle rampant.* (*Entreprise d'amélioration de Cahn Hill.*)

possible d'améliorer considérablement les conditions de pacage, et par conséquent d'améliorer la capacité de beaucoup de pâturages de colline. L'entreprise d'amélioration de Cahn Hill, commencée en 1933 en collaboration avec la Station de génétique végétale du Pays de Galles, a accompli une œuvre de pionnier.

Les prairies permanentes comprennent des champs qui sont broutés, ou fauchés pour la récolte des foins, ou les deux. En 1939 elles couvraient plus de 7½ millions d'hectares en Angleterre et au Pays de Galles, et bien que cette superficie ait été considérablement réduite à la suite de la décision de mettre une plus grande proportion de terrain en culture, elles couvrent encore environ la moitié de la superficie agraire des deux pays. Les prairies permanentes contiennent un assortiment de graminées, trèfles et autres herbes, et leur valeur varie énormément. Elles possèdent toutes le trait écologique caractéristique d'être dans un état d'équilibre instable. L'homme contrôle les facteurs biologiques au moyen de méthodes d'exploitation qui sont beaucoup plus anciennes que les principes scientifiques sur lesquels elles sont basées.

On peut obtenir des modifications considérables du gazon par l'emploi de différentes combinaisons d'engrais. L'action de l'azote qui stimule la croissance des graminées et amène une diminution du trèfle, est bien connue. Mais, comme l'a montré Blackman [1], l'action sur le trèfle peut être due à la compétition pour la lumière.

La plus grande partie des prairies de Grande-Bretagne ont été constituées à la longue, grâce à la sélection inconsciente, parmi les plantes indigènes, des espèces qui conviennent à telle ou telle case de leur composition. Il est essentiel pour assurer la survie des plantes qui forment le gazon qu'elles soient capables de croître et de se reproduire dans des conditions au cours desquelles elles sont privées de leurs feuilles et piétinées. Une exploitation maladroite telle que le pacage par un trop grand nombre d'animaux, suivi de repos, permettra l'envahissement par le chardon et autres mauvaises herbes [6]. Les prairies permanentes anciennes les meilleures de Grande-Bretagne, telles qu'on en rencontre dans le Leicestershire et dans le Weald du Kent, sont constituées par un assortiment de plantes obtenu à la longue par l'action sélective de ce facteur biologique. Sinclair avait déjà remarqué en 1824 qu'il serait utile de se servir de graines provenant des pâturages anciens. Ce n'est que près de cent ans plus tard que Stapledon et Jenkin commencèrent à amasser, l'un ses collections de dactyle pelotonné et l'autre sa collection de ray-grass, comportant beaucoup de spécimens provenant des pâturages anciens, qui ont joué un rôle très important dans l'élaboration des souches d'Aberystwyth.

Les prairies temporaires à long et à court terme sont des champs ensemencés avec une graminée ou une espèce de trèfle, ou un mélange simple; on laisse les plantes se développer pendant un certain temps, puis on les enfouit par labourage pour préparer le sol en vue d'un cycle d'autres cultures. La meilleure technique actuelle, qui dans une certaine mesure est un retour à la culture alternée, donnerait une durée de quatre, six ou huit ans avant un nouveau labourage. Le problème a été de choisir un assortiment d'espèces de graminées et de légumineuses capables de produire en une ou deux saisons un gazon qui puisse être brouté ou fauché, ou les deux, aussi bien que s'il avait été constitué de longue date par exploitation rationnelle. Quelles espèces faut-il choisir, quelle doit être l'origine des graines, et dans quelle proportion faut-il les mélanger pour que, pendant les stades de germination puis de compétition entre les plantes complètement développées, le gazon persiste sous forme d'un tapis poussant au ras du sol et pouvant supporter d'être brouté et tondu [2, 7]?

Les problèmes de la production des graines de plantes fourragères sont très différents de ceux qui concernent les semences de céréales telles que le blé. Les céréales sont normalement autofécondées; une fois obtenus, les hybrides convenables sont relativement faciles à multiplier, car il y a peu de chances de contamination par des pollens provenant d'autres variétés. Par contre, la plupart des graminées vivaces, ainsi que les trèfles blanc et incarnat qui sont très importants, se reproduisent normalement par pollinisation croisée. Il s'ensuit que toute population naturelle est soumise à des variations considérables par suite des échanges de gènes. Les individus d'une telle population peuvent différer entre eux de diverses façons. Quelques-unes de ces différences sont des caractéristiques physiologiques, par exemple la précocité ou la tardiveté de la croissance végétale, la saison de floraison, etc. Cette variabilité de détails dans une population où la fécondation croisée est la règle est modifiée par le milieu. C'est ainsi que peuvent prendre naissance des écotypes.

C'est en 1922 que Turesson [8] publia pour la première fois un compte-rendu de ses observations

et de ses expériences sur les diverses espèces de plantes communes existant à l'état sauvage dans différents habitats et en différentes régions de Suède. Elles l'amenèrent à formuler sa conception de l'écotype: « une unité écologique couvrant le produit de la réponse génotypique . . . à un habitat donné ». La conception de l'écotype a eu une influence stimulante sur les recherches écologiques et génétiques dans un vaste domaine et a conduit à des conclusions importantes sur la nature des espèces [4, 9]. La conception de l'écotype a eu également une grande importance dans le travail de recherche concernant les pâturages. Si l'on examine à la lumière de cette conception le problème du choix des herbes à semer, on est tenté de penser que l'idéal serait de produire localement les différentes espèces de graminées et de légumineuses destinées à une région donnée, puisque c'est la seule façon d'obtenir la totalité des effets sélectifs des facteurs de milieu.

Stapledon rapporte que, en 1918, au cours d'une tournée d'inspection des pâturages d'Angleterre pour le bénéfice du Ministère de l'Agriculture, son attention fut attirée par l'extrême diversité de forme des différents plants de dactyle pelotonné, *Dactylis glomerata* [10]. De retour à Aberystwyth, et mettant à profit les facilités fournies par la Station de génétique végétale du Pays de Galles, fondée en 1919 par Lord Milford, lui et ses collègues commencèrent une étude approfondie des graminées et des légumineuses d'importance agronomique. Stapledon porta son attention sur le dactyle pelotonné. Il se procura plus de 300 plants provenant d'habitats caractéristiques de Grande-Bretagne. Il fit venir des semences d'Europe, des Etats-Unis, et de Nouvelle-Zélande. Plus de 11.000 spécimens ont été soumis à une étude critique.

Le Professeur Jenkin fit des recherches sur d'autres espèces, particulièrement le ray-grass, *Lolium perenne*. Des expériences de reproduction contrôlée montrèrent que l'on pouvait obtenir des races à pollinisation directe, mais que dans la plupart des cas ce mode de reproduction donnait des résultats indésirables. On prit donc la décision de produire des souches de plantes se reproduisant par fécondation croisée. Une souche n'est pas une race homogène auto-fécondable; c'est un mélange de races à fécondation croisée et présentant une combinaison de caractères avantageux pour l'usage auquel cette souche est destinée [5]. Par exemple S23 (toutes les souches d'Aberystwyth sont désignées par des chiffres précédés de la lettre S) est un type de ray-grass poussant en touffes épaisses, feuillu, fleurissant tardivement et persistant dans les pâturages où le sol est bon. Il a été obtenu à partir de pâturages très anciens des Midlands, du Kent, du Lincolnshire et même de Hollande. S24 par contre provient surtout de deux plants de ray-grass poussant à l'état sauvage mais non dans les pâturages broutés. On y a incorporé des plants de Nouvelle-Zélande et leurs descendants. Le résultat est une souche fourragère, feuillue, à floraison précoce.

La souche convenable une fois obtenue, la production d'une quantité suffisante de graines pour satisfaire à la demande nécessite une surveillance scientifique constante [3]. Il est évidemment essentiel d'isoler les souches en croissance des autres champs contenant d'autres races appartenant à la même espèce. Les souches des trois espèces principales destinées aux pâturages ou à la production de foin — dactyle pelotonné, ray-grass et fléole — ont été obtenues à Aberystwyth et à la Station écossaise de génétique végétale à Corstorphine. Grâce à elles et aux souches appropriées de trèfles rampant et incarnat [11] on peut maintenant entreprendre la constitution de prairies adaptées à des besoins particuliers et à des saisons données avec une confiance qui aurait été impossible il y a seulement dix ans.

BIBLIOGRAPHIE

[1] BLACKMAN, G. E., et TEMPLEMAN, W. G. *Ann. Bot.*, 1938, **2** (nouvelle série), 257 et 765.

[2] DAVIES, W. *Impl. Bur. Pastures and Forage Crops Bull.*, 1945, **34**, 1.

[3] EVANS, G. *Impl. Bur. Plant Genetics Bull.*, 1937, **22**.

[4] GREGOR, J. W. *Biol. Rev.*, 1944, **19**, 20.

[5] JENKIN, T. J. Report of the Fourth International Grassland Conference, 1937, 54.

[6] JONES, M. *Ibid.*, 470.

[7] THOMAS, M. T. *Impl. Bur. Pastures and Forage Crops Bull.*, 1945, **34**, 22.

[8] TURESSON, G. *Hereditas*, Lund., 1922, **3**, 100 et 211.

[9] TURRILL, W. B. *New Phyt.*, 1946, **45**, 34.

[10] STAPLEDON, G. R. *Journ. Ecol.*, 1928, **16**, 71.

[11] WILLIAMS, W. *Welsh Plant Breeding Station Bull.*, Sér. H., 1945, **16**.

Progrès dans la lutte contre les sauterelles

O. B. LEAN

Depuis les temps préhistoriques on a vu avec terreur les invasions de sauterelles. Pendant des siècles, l'homme n'a pu se défendre qu'en détruisant le fléau à ses points d'attaque — tâche décourageante parce qu'elle est au-dessus des moyens des communautés restreintes. Aujourd'hui on est mieux au courant de la reproduction et de la migration des sauterelles. Cela a permis de localiser la source de nouvelles irruptions possibles, et l'emploi, alors, de méthodes chimiques permet de détruire les insectes avant qu'ils ne soient destructeurs.

L'origine de la lutte moderne contre les sauterelles date de 1921. C'est alors qu'Uvarov proposa, pour la première fois, comme une hypothèse de travail, sa théorie fondamentale des phases. Avant cette date, on avait mené des campagnes intenses contre les sauterelles dans les plus civilisés des pays exposés aux attaques périodiques, mais ce n'est que depuis 1921, et plus particulièrement depuis 1938, que ces campagnes ont été organisées avec méthode, plus pour éviter à une riche région agricole les invasions de sauterelles, que pour défendre les cultures à la dernière minute.

Dans un précédent article dans ENDEAVOUR, Imms[1] décrit l'écologie de ce que l'on appelle « sauterelle ». Ce nom ne correspond pas à un terme systématique précis, mais on l'emploie pour désigner ces sauterelles à courtes antennes, chez lesquelles peuvent se développer des habitudes grégaires et migratoires. Il y a environ huit sortes de sauterelles vraies, avec plusieurs sous-espèces et races géographiques, qui envahissent plus de quatre-vingt pays, en Europe, Asie, Afrique, dans les deux Amériques et en Océanie.

Ces espèces de sauterelles varient beaucoup en caractères morphologiques et en comportement, et les formes extrêmes peuvent être si différentes qu'on les a parfois regardées comme des espèces distinctes. Ces formes sont appelées phases. Un cas extrême est celui des individus de la *phase solitaria*, qui se comportent comme des sauterelles relativement inactives, solitaires, ne réagissant presque pas à la présence de leurs semblables. L'autre cas extrême est celui des individus de la *phase gregaria*. Ce sont les vraies sauterelles. Elles ont des habitudes grégaires et migratrices hautement développées. Les jeunes individus marchent en bandes serrées de sauteurs, et les adultes émigrent à de longues distances en essaims denses. La phase d'une communauté de sauterelles dépend de la densité de population. Ainsi, un nombre considérable de jeunes *solitaria* se développant dans un espace restreint amènera leur transformation en sauterelles migratrices; réciproquement, quelques sauterelles migratrices se développant dans un espace pratiquement illimité redeviendront sédentaires.

POLITIQUE PRÉVENTIVE

La suite d'évènements qui provoquent une irruption de sauterelles est moins obscure que le détail des relations écologiques qui causent effectivement la transition d'une phase à l'autre. Les phases solitaires de plusieurs espèces de sauterelles sont réparties sur un très grand espace, mais il n'y a que certaines localités limitées, appelées aires d'irruption, où des conditions favorables amènent une concentration de la population qui entraîne le grégarisme et la phase essaimante.

La phase solitaire de la Sauterelle Migratrice Africaine, *Locusta migratoria migratorioides* (R. et F.), est répartie en Afrique, dans toute l'Europe, et en Asie au-dessous de la latitude 60°. Les essaims envahissent presque toute l'Afrique tropicale. En 1929 j'ai vu des essaims affluer en Nigéria, et nos connaissances étaient si médiocres il y a dix-huit ans que cette invasion se produisit sans être annoncée, et qu'on ne put en découvrir l'origine qu'après avoir analysé les mouvements d'essaimage de toute l'irruption. Nous savons maintenant que la transition initiale de *phase solitaria* à *phase gregaria* eut lieu en 1928, sur une surface de 18.000 km², dans les marécages du Niger, dans le Soudan français. Partant de ce seul foyer, les essaims s'étalèrent, génération après génération, pendant les neuf années suivantes, jusqu'à couvrir 26 millions de km² de l'Afrique. Dans l'Afrique Occidentale, en Afrique Equatoriale, au Soudan, en Erythrée, en Afrique Orientale Anglaise, au Congo Belge et en

[1] « Les Invasions de Sauterelles et les Mesures de Protection », ENDEAVOUR (1943), II, 56.

Rhodésie, on improvisa des campagnes coûteuses pour détruire chaque génération de sauterelles, mais en dépit de tous les efforts, le fléau dura jusqu'en 1937, et les pertes en récoltes furent considérables.

La découverte de la zone d'irruption du Niger Moyen détermina la politique fondamentale de la lutte contre la Sauterelle Migratrice Africaine, bien que ce ne fût pas là nécessairement le seul point dangereux. En empêchant une multiplication excessive des populations *solitaria*, on pourrait éviter le développement de la *phase gregaria* et des essaims migrateurs.

La guerre arrêta l'institution d'une organisation internationale qu'avait recommandée la Cinquième Conférence Internationale sur les Sauterelles, à Bruxelles en 1938, pour étudier la zone d'irruption, la maintenir sous une surveillance permanente, et éliminer tout début d'essaimage. Toutefois les Français, de leur propre initiative, fondèrent un service préventif, qui a maintenu la zone en état d'observation depuis 1939.

On a avancé d'une étape de plus dans la lutte contre la Sauterelle Rouge, *Nomadacris septemfasciata* (Serv.). De 1930 à 1938 des entomologistes de plusieurs nationalités se dispersèrent à l'intérieur de l'Afrique et de l'Asie occidentale, et en ramenèrent de nombreuses observations. L'une des plus importantes fut la délimitation des zones d'irruption de la Sauterelle Rouge sur les rives du lac Rukwa dans le Tanganyika et dans les marécages de Mweru, à la frontière du Congo Belge et de la Rhodésie du Nord. Un service de surveillance anglo-belge fut établi en 1941.

La lutte permanente contre la Sauterelle du Désert, *Schistocerca gregaria* (Forsk.), est un problème plus complexe, qu'il faudra cependant traiter de façon semblable. De toutes les sauterelles, c'est celle qui est la plus répandue, puisqu'on la rencontre depuis le Sénégal et le Maroc, en Afrique Occidentale, jusqu'à l'Inde Centrale, et de la Turquie, et des républiques du sud de l'U.R.R.S., à travers la péninsule d'Arabie, jusqu'au territoire du Tanganyika. On connaît certaines zones d'irruption, on en soupçonne d'autres, et il est déjà clair que le fléau peut se développer à partir de plusieurs zones très éloignées les unes des autres d'une façon quelque peu différente de la conception originale de transition de phase. Bien qu'il puisse y avoir aggrégation préliminaire dans certaines zones déterminées, la formation d'essaims peut, au moins chez cette espèce, être une évolution plus graduelle, où il y a migration de *solitaria* ou de formes intermédiaires d'une zone saisonnière de reproduction à une autre, normalement entre les zones de pluies d'hiver et de pluies d'été. Des zones comme la côte du Mékran, et les deux côtes de la Mer Rouge du Sud, où deux systèmes climatiques se rejoignent, sont les plus dangereuses, mais le problème est rendu très compliqué par l'irrégularité des pluies sur la majeure partie des déserts habités par cette espèce.

La Conférence de Bruxelles recommanda l'institution d'un service international de prévention, mais là encore la guerre survint et en même temps une nouvelle irruption de cette sauterelle, qui, commencée en 1940 et sévissant encore à l'heure actuelle, écarta l'attention des problèmes de prévention, pour mettre au premier plan les problèmes d'action positive contre les essaims envahisseurs.

Malheureusement, le tableau n'est pas net. Des études récentes ont éclairci nos idées sur la Sauterelle du Désert, mais il y a encore beaucoup de recherches à faire, et le premier devoir d'une organisation internationale sera de faire une exploration scientifique pour identifier les zones dangereuses, et déterminer tous les facteurs écologiques qui peuvent conduire au développement de la *phase gregaria*.

Le Nouveau-Monde nous présente un problème similaire. La sauterelle sud-américaine, *Schistocerca cancellata* (Serv.), se rencontre surtout en Argentine (qui souffre du fléau plus que tout autre pays du monde), en Uruguay et au Brésil; mais elle attaque aussi la Bolivie, le Paraguay et le Chili. Des irruptions dans le Nord, au Pérou, dans l'Equateur et en Colombie peuvent être liées à l'activité de l'espèce méridionale, ou en être indépendantes.

Les renseignements sur la sauterelle de l'Amérique du Sud sont encore fragmentaires, surtout parce que l'on n'a étudié les mouvements des essaims que localement. Pourtant, là encore, on a reconnu la nécessité d'une coopération internationale, et à la conférence de Montevideo, en septembre 1946, des représentants de neuf états conseillèrent la création d'une organisation panaméricaine permanente de lutte préventive.

La lutte contre la Sauterelle Marocaine, *Dociostaurus moroccanus* (Thnbg.) est une question différente mais voisine. Cette espèce méditerranéenne se rencontre de l'Espagne et du Maroc jusqu'à la Transcaucasie, l'Iran et l'Afghanistan à travers l'Europe méridionale et l'Anatolie. Elle n'est pas migratrice dans les mêmes proportions que les espèces déjà étudiées.

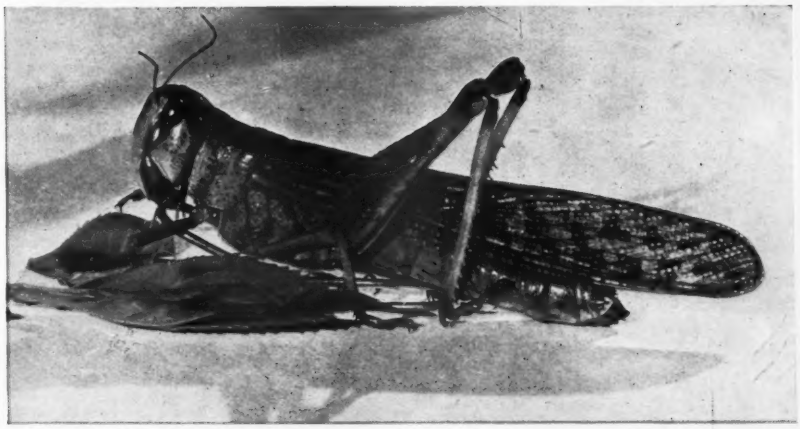


FIGURE 1 (*en haut*) – *Nymphe de la Sauterelle du Désert*, Schistocerca gregaria. ($\times$ 1½)

(*Avec l'autorisation de l'*Anti-Locust Research Centre, British Museum)

FIGURE 2 (*en haut, à droite*) – La *Sauterelle Migratrice Africaine*, Locusta migratoria migratorioides. ($\times$ 1½)

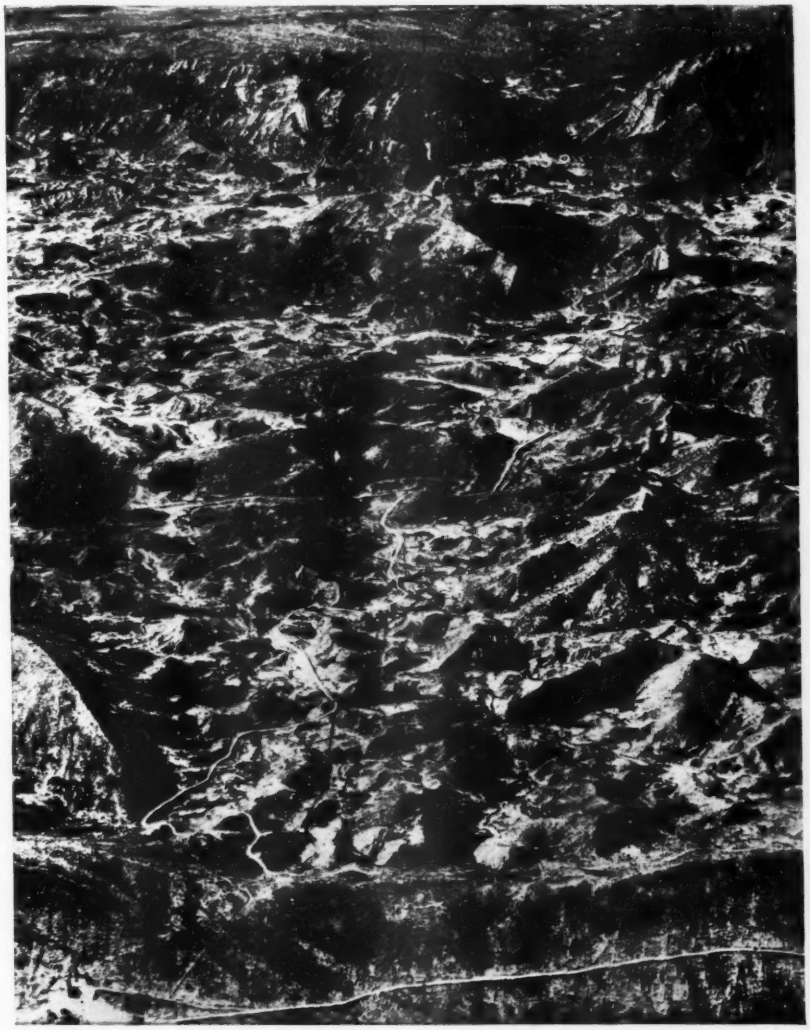


FIGURE 3 – *Contrée montagneuse dans le sud de l'Iran, analogue à celles ou l'on doit mener le travail de protection contre les sauterelles.*

FIGURE 4 – *Amas de jeunes nymphes, en Erythrée.*

FIGURE 5 – *Maïs dévoré par les sauterelles, en Argentine.*

FIGURE 6 – *Lance-flammes en action, en Erythrée.*

STRATÉGIE SAISONNIÈRE

Chaque année, pendant une irruption, la migration des essaims et la reproduction suivent un rhythme analogue. Dans leurs migrations d'un pays au suivant et d'un continent à l'autre, les essaims de sauterelles sont entrainés par les vagues climatiques. Les diverses espèces de sauterelles diffèrent dans leur habitat et leurs réactions aux conditions climatiques et éco-climatiques, mais aucune ne peut vivre ou se reproduire dans des conditions extrêmes d'humidité ou de sécheresse, ou à des températures extrêmes, et les migrations permettent aux espèces d'éviter une zone défavorable.

Le Soudan Anglo-Egyptien et les hauteurs d'Erythrée ont un climat tropical, avec un seul maximum de pluies pendant l'été; la Sauterelle du Désert se reproduit dans toute cette zone climatique, approximativement de juin à octobre. A l'apparition de la saison sèche les essaims de la génération suivante se transportent au nord-est, jusqu'à la côte de la Mer Rouge, et plus particulièrement en Arabie, où les pluies tombent en hiver. La Sauterelle du Désert se reproduit aussi pendant les pluies qui accompagnent la mousson, dans le nord-ouest des Indes, d'où se transportent les essaims jeunes vers les régions de pluies d'hiver qui entourent le Golfe Persique. Certaines se reproduisent dans le sud de l'Iran, d'autres en Arabie de l'autre côte du Golfe, et certaines voyagent jusqu'en Irak — un vol de 1.900 km.

Les essaims d'Arabie, éclos en hiver et au printemps, émigrent en général au nord et à l'ouest, et envahissent la vallée de l'Euphrate, la Syrie, la Palestine et le delta du Nil. Les essaims iraniens de la même génération s'envolent vers le nord, dans le centre de l'Iran, et atteignent parfois la Russie. Dans toutes ces régions la reproduction a lieu vers la fin du printemps, et les essaims de la génération suivante retournent vers les zones de pluies d'été, les essaims iraniens dans l'Inde, et les essaims égypto-syrio-irakiens vers le Soudan.

L'Arabie et le sud de l'Iran occupent une position-clé comme zones de dispersion, pendant les irruptions saisonnières, et bien qu'elles ne soient pas des régions agricoles, on a intérêt à y attaquer les sauterelles, pour réduire toute invasion consécutive de terres plus riches.

Pendant la guerre, des spécialistes anglais, fondant leur stratégie sur la connaissance toute récente de ce cycle, se chargèrent presque entièrement de ces campagnes nouvelles et difficiles. Avant la première reconnaissance dans l'intérieur de l'Arabie en 1942, de telles opérations auraient paru impracticables, mais, en 1944, on mit sur pied une organisation complexe, et des unités d'extermination motorisées pénétrèrent pratiquement à travers la totalité de la zone de reproduction. En Arabie, la *British Middle East Anti-Locust Unit* recevait l'aide d'unités égyptiennes et hindoues, et de travailleurs du Soudan et de la Palestine; dans l'Iran, l'unité anglaise travailla côte à côte avec des missions iraniennes, russes et hindoues.

On en sait beaucoup moins sur la sauterelle sud-américaine que sur les autres espèces. Néanmoins, nous savons que l'Uruguay est envahi par des essaims venant d'Argentine, ou ayant traversé l'Argentine, et qu'au printemps des essaims voraces de sauterelles non-adultes traversent la frontière ouest pour envahir une ceinture agricole. Il se peut que la meilleure manière de défendre l'Uruguay soit d'agir à des centaines de kilomètres de distance, mais tant qu'on n'est pas certain de l'origine des essaims il faut les détruire immédiatement lorsqu'ils traversent la frontière. La défense d'une frontière de 435 km se révèlera certainement difficile, et peut-être l'attaque par avion des essaims mobiles sera-t-elle la méthode la plus efficace.

Il existe une opinion courante, mais erronée, propagée par la publicité, que l'avion représente le dernier perfectionnement de la lutte contre les sauterelles. Depuis de nombreuses années on emploie des aéroplanes, mais surtout pour accélerer des opérations qui peuvent s'effectuer au sol. Il semble que ceux-ci seraient réellement utiles pour l'attaque des essaims volants, contre lesquels il n'y a pas d'autre remède.

Il n'est pas suffisant de détruire quelques essaims de cette façon, cependant le vaporisage aérien peut devenir économique s'il peut empêcher l'invasion de tout un pays, pour économiser le total des dépenses dues aux dommages, et aux campagnes de destruction, et si une technique améliorée permet de réduire considérablement les doses utiles, comme cela semble possible d'après des recherches récentes effectuées par des savants anglais.

C'est une erreur de concevoir une campagne contre les sauterelles comme quelque chose de tout décidé à l'avance. Il faut avoir un plan pour les premiers préparatifs, mais il doit être souple, et toutes les unités doivent être mobiles. Le quartier-général sera tenu au courant des progrès de l'invasion par des rapports journaliers envoyés

par radio par ses détachements, et devra souvent apporter à la dernière minute des modifications dans la disposition de ses forces pour faire face à un changement de situation. En 1945–6 il y eut en Arabie des cas de reproduction dans des régions exceptionnellement éloignées dans le nord, et la plus grande partie de cette zone se trouvait hors d'atteinte des détachements postés à la rencontre d'une invasion normale.

Aucun compte-rendu des méthodes modernes de lutte contre les sauterelles ne serait complet s'il ne rendait hommage au travail de défrichement que l'*Anti-Locust Research Centre* de Londres a effectué dans cette voie. Cette institution anglaise, reconnue depuis 1930 comme centre international de coordination, de renseignements et de prévisions a été à la base de tous les récents progrès, et a fourni les données pour l'organisation de nombreuses opérations. Le Centre prédit l'irruption actuelle de la Sauterelle du Désert, et pour la première fois dans l'histoire, les pays menacés furent avertis de préparer leur défense. Dans les quartiers-généraux locaux, que ce soit à Bagdad, Nairobi, Téhéran, Jedda, Damas ou Asmara, on peut examiner des cartes de la situation, où sont indiqués les mouvements des essaims, les pontes d'œufs, les infestations de nymphes, et toutes ces cartes sont rassemblées par l'*Anti-Locust Research Centre*, qui dresse le tableau complet de la situation. Chaque pays confirme ses rapports locaux, et télégraphie un sommaire bimensuel à Londres et à ses voisins, envoyant ensuite des listes détaillées des essaims. Tous les rapports sont examinés, inscrits sur des tables et les renseignements indiqués sur des cartes à grande échelle. En retour, le Centre met en circulation un sommaire mensuel de la situation et la prévision des développements probables. Aucun système rigide ne peut suppléer à tous les besoins, et les rapports arrivent de toute espèce de source. Ces rapports arrivent parfois trop tard pour faire partie des sommaires de la situation courante, mais ils aident le Centre dans son étude générale des migrations, et ces études détermineront dans l'avenir la politique et la stratégie de la lutte.

TACTIQUES JOURNALIÈRES

Dans l'antiquité, le fermier comptait sur des pratiques magiques pour se protéger, et même jusqu'en 1942 il y avait des prières coraniques pendues à des perches parmi les récoltes iraniennes. On a probablement battu et brûlé les sauterelles depuis les époques primitives, et même aujourd'hui, ces méthodes grossières — rarement efficaces, et entraînant toujours un gaspillage extravagant de main-d'œuvre — ne sont que trop répandues encore. Ensuite, probablement, vint l'emploi de tranchées: des armées d'hommes entraînent les masses de sauterelles encerclées vers des fosses ou des tranchées, et bien que cette technique demande beaucoup de travail, on l'a utilisée sur une grande échelle pendant l'irruption actuelle de la Sauterelle du Désert, en particulier aux Indes.

L'introduction de barrières métalliques, comme perfectionnement de la simple tranchée, marqua un progrès réel, et la méthode devint très populaire. On l'emploie encore, par exemple en Syrie et en Amérique du Sud: l'Argentine à elle seule possède 30.000 km de barrières. Quand une bande en s'avançant atteint une barrière, les sauterelles tournent à droite ou à gauche, et tombent dans des fosses ou des enclos soigneusement construits dont elles ne peuvent pas s'échapper. La méthode est pour le moins encombrante, et manque de mobilité.

On a employé pour la première fois les lance-flammes en Palestine en 1918 — c'est l'équivalent moderne du simple brûlage. Ils sont si spectaculaires qu'en dépit de leur manque d'efficacité et des dépenses élevées qu'il occasionnent, leur popularité ne s'éteint que lentement.

Le début de la phase chimique a été marqué par l'emploi d'insecticides de contact assez primitifs, comme le kérosène, l'huile brute et la soude caustique, vaporisés ou pulvérisés, sur les sauterelles, et par le traitement aux dérivés arséniés de la végétation dont les sauterelles se nourissent. La phase moderne date de l'emploi d'appâts empoisonnés. Cette technique demeure la base de toute campagne moderne.

Elle réussit parce que les sauterelles, particulièrement à l'état de nymphes, sont plus attirées par certaines substances que par leur nourriture végétale normale. Un poison de contact doit atteindre chaque insecte, mais la sauterelle recherche l'appât empoisonné et sa propre destruction. Ces amorces consistent en une base comestible attirante, ou support, mélangée à un insecticide stomacal. On a utilisé des bases très diverses, d'abord des végétaux verts broyés, puis des excréments animaux; et bien que le son soit maintenant populaire, on peut utiliser beaucoup d'autres produits, comme la sciure, les coques de graines, les tourteaux, les bagasses, les tiges de milet moulu, les barbes de maïs, les cosses de café. Le choix d'un support doit dépendre des ressources locales, en donnant la préférence aux

déchets sur les produits d'alimentation des animaux. Quel que soit le produit choisi, son efficacité dépend largement de la quantité d'eau qu'il absorbera, et de sa lenteur à se dessécher, car l'humidité est la principale cause d'attraction.

La question du constituant poison est plus importante. La faveur s'est portée sur divers dérivés arsénicaux, particulièrement l'arsénite de sodium, mais dans certaines régions, comme aux Etats-Unis, où l'on risquerait d'empoisonner des animaux domestiques, on préfère le fluosilicate de sodium. Jusqu'en 1944 la formule la plus courante pour un appât de ce type était: son 100 kg, arsénite de sodium 1,5–2 kg et 100 litres d'eau.

L'introduction de l'hexachlorure de benzène dans les appâts en 1944 marque une autre étape importante de la lutte contre les sauterelles. Les principes de la méthode restent les mêmes, mais deux propriétés de ce nouveau poison ont permis d'ouvrir des voies nouvelles. Les doses normales ne sont pas toxiques pour les animaux supérieurs, et on peut donc s'en servir avec une confiance parfaite. Cela a permis d'étendre les mesures de protection à des pays retardataires, où un accident fatal avec l'arsénite de sodium soulèverait l'antagonisme de la population. Cela a produit une véritable révolution dans l'attitude des pays d'élevage de l'Amérique du Sud, qui se tournent maintenant vers l'emploi d'appâts empoisonnés, pour remplacer des méthodes périmées. De plus, l'hexachlorure de benzène tue si rapidement que l'on est encouragé par des résultats visibles en quelques minutes.

Le constituant toxique de l'hexachlorure de benzène est l'isomère γ, le « Gammexane ». Un appât standard contient 0,5 % d'hexachlorure de benzène, ou environ 0,065 % de « Gammexane ». Employés par un expert, 5 kg de mélange peuvent, dans de bonnes conditions, détruire un hectare de sauterelles. Cela veut dire qu'il y a moins de 5 grammes de l'insecticide lui-même utilisés par hectare pour tuer peut-être 5 millions d'insectes.

Le comportement journalier des sauterelles, comme le comportement saisonnier des essaims, est une série cyclique de réactions au climat — aux conditions écoclimatiques plutôt qu'aux climats régionaux. Aux températures basses et élevées les sauterelles sont immobiles. Aux températures intermédiaires il suffit de légères fluctuations pour déterminer si elles se nourrissent sans marcher, se nourrissent en marchant, ou marchent sans se nourrir. Elles n'avancent pas au hasard, mais leur ligne de marche s'oriente d'après la direction du vent, la lumière, les radiations et les caractéristiques topographiques; le chasseur de sauterelles ne peut apprendre que petit à petit à utiliser avantageusement ses munitions.

Il n'y a pas de méthode unique, toutefois, qui réponde aux diverses nécessités de la lutte, et les techniques de campagne doivent être aussi souples que l'organisation de la lutte toute entière. Ces dernières années les campagnes contre la seule Sauterelle du Désert ont été conduites dans des conditions d'une diversité stupéfiante. En Iran, à 2.700 m d'altitude, dans le plateau central, au sein d'une communauté fermière de paysans; en Syrie dans les riches jardins irrigués qui entourent Damas; en Transjordanie, dans la région dénudée au pied des montagnes de Moab, 300 m au-dessous du niveau de la mer; au Soudan, dans les champs de coton irrigués du delta du Gash; sur les hauteurs d'Abyssinie; dans les déserts vides de l'Arabie, en Kenya, et dans la Province de la Frontière du Nord peu peuplée.

Quelle que soit la technique employée, un équipement simple et mobile rendra la destruction plus efficace. C'est pourquoi l'emploi d'appâts a pris la tête des méthodes de protection. Les machines à pulvériser ou vaporiser, les lance-flammes, ou tout autre équipement mécanique sont très difficiles à entretenir par suite des traitements brutaux inévitables dans les conditions ardues d'une campagne caractéristique contre les sauterelles.

ORGANISATION

On a encouragé l'esprit de coopération internationale par diverses conférences internationales, mais bien qu'elles soient inévitables, et même nécessaires, les progrès réels ont plutôt résulté d'échanges amicaux et sans cérémonie entre les experts. L'extermination des sauterelles est un travail spécialisé qu'il faudrait laisser aux soins des entomologistes.

On ne peut comparer les invasions de sauterelles aux attaques d'insectes nuisibles moins mobiles, et on considère de plus en plus que la responsabilité de la protection contre les sauterelles incombe au gouvernement pour le bénéfice de la communauté. Ceci va de pair avec la nécessité de développer de vastes projets de recherche, et d'attaquer la sauterelle partout où on peut l'atteindre, si loin que ce soit des cultures.

Fixation de l'azote par les algues bleu-vert

G. E. FOGG

On connaît depuis la fin du XIXème siècle la propriété de certaines espèces bactériennes de fixer l'azote atmosphérique et l'importance de ce processus pour le maintien de la fertilité du sol. Mais ce n'est que récemment que l'on a démontré que certaines espèces d'algues avaient aussi le pouvoir de fixer l'azote. Ce phénomène prend une importance pratique considérable pour certains sols tropicaux, tels les rizières des Indes, aussi que pour le maintien de la productivité des eaux douces.

On ne peut douter de la part considérable que joue dans le maintien de la fertilité du sol le pouvoir que possède une petite minorité d'organismes vivants d'utiliser l'azote libre de l'atmosphère dans la synthèse de la matière cellulaire [1]. L'importance, de ce point de vue, des *Azotobacter* et des plantes légumineuses est bien connue, mais un troisième groupe d'organismes capable de fixer l'azote, les algues bleu-vert, l'est moins. Nos connaissances relatives à la fixation de l'azote par les organismes qui constituent ce groupe, bien qu'encore peu nombreuses, sont cependant suffisantes pour nous permettre de concevoir leur importance.

Les algues bleu-vert, ou *Myxophycées*, sont des plantes primitives, assez semblables aux bactéries en ce que, par exemple, elles ne présentent ni reproduction sexuée, ni noyau analogue à celui que l'on observe chez les animaux et les plantes supérieures. Dans l'ordre des *Chroococcales* les individus sont unicellulaires et peuvent être isolés ou bien agglomérés en colonies, comme par exemple les deux espèces *Gloeocapsa*. Dans les ordres plus élevés, comme *Nostocales* et *Stigonematales*, certains membres sont filamenteux, comme *Petalonema*, *Anabaena* et *Gloeotrichia*.

Le fait que ces algues sont capables de fixer l'azote fut indiqué pour la première fois dans les travaux de Frank [2] publiés en 1889, quatre ans avant l'isolement de la bactérie fixant l'azote, effectué pour la première fois par Winogradsky. Toutefois les cultures de Frank étaient impures et les premières cultures pures de l'algue que l'on ait obtenues étaient incapables de croître en l'absence d'azote combiné. D'où l'idée généralement acceptée que les algues, y compris les *Myxophycées*, étaient incapables de fixer l'azote et que leur développement en l'absence apparente d'azote combiné, lorsqu'il se produisait, était dû à leur association avec des bactéries nitrifiantes. Cette opinion prévalut jusqu'à une époque relativement récente, et elle était rendue plausible par l'isolement de bactéries nitrifiantes de matières provenant d'algues [3]. La première difficulté à laquelle on se heurte pour prouver la fixation de l'azote par les *Myxophycées* est la préparation de cultures exemptes d'autres organismes. Les cultures pures sont nécessaires parce que même si l'on a la certitude que les organismes contaminants ne peuvent fixer l'azote seuls, on ne peut exclure la possibilité qu'ils puissent le faire en association avec l'algue. La gaine gélatineuse dont sont munis la plupart des membres de ce groupe constitue un milieu naturel pour le développement de la bactérie et rend leur suppression par les méthodes de culture habituelles exceptionnellement difficile.

C'est Drewes qui, en 1928, émit l'opinion bien fondée en faveur de la fixation de l'azote par les *Myxophycées*, et elle était basée sur des travaux effectués avec des cultures pures obtenues par une méthode compliquée de sous-culture [4]. Depuis lors on a imaginé de nouvelles méthodes pour l'obtention de cultures pures. La plus pratique semble être l'emploi de lumière ultra-violette, une irradiation appropriée tuant la bactérie mais non l'algue [5, 6]. Récemment les savants ont porté une attention particulière à la vérification de la pureté de leurs cultures [7, 8] et l'on est maintenant sûr qu'elles l'étaient véritablement. Pour obtenir une preuve concluante de la fixation par une espèce donnée, il faut non seulement employer des cultures pures mais encore une méthode sûre pour démontrer un accroissement de l'azote combiné. Dans la plupart des recherches sur les algues on a employé pour le dosage de l'azote la méthode de Kjeldahl. Son emploi pour des recherches de ce genre donne lieu à quelques critiques [1] mais dans le cas de cultures dans un milieu initialement exempt d'azote combiné, tel que ceux habituellement employés, les objections présentées ne s'appliquent pas. Récemment on

a mis en évidence la fixation d'azote par *Nostoc muscorum* par l'emploi comme élément détecteur de l'isotope lourd de l'azote [9]; ceci confirme la valeur de la méthode plus générale.

On a maintenant des preuves satisfaisantes du pouvoir fixateur vis-à-vis de l'azote des espèces suivantes de *Myxophycée: Nostoc punctiforme* [4, 6, 10], *N. muscorum* [9, 11], *N. paludosum* [6], *Anabaena variabilis* [4, 5, 6, 7], *A. gelatinosa* [7], *A. naviculoides* [7], *A. humicola* [6], *A. cylindrica* [6, 8], *A. ambigua* [12], *A. fertilissima* [12], *Cylindrospermum licheniforme* [6], *C. maius* [6], *C. gorakhporense* [12], et *Aulosira fertilissima* [12]. Toutes ces espèces appartiennent à la même famille, les *Nostocacées*. Seules de nouvelles recherches pourront démontrer si la fixation d'azote est l'apanage de cette seule famille, mais en attendant il est intéressant de spéculer sur la possibilité de rencontrer cette propriété chez d'autres algues bleu-vert. Il est possible que la seule algue connue fixant l'azote soit exclusivement *Nostocacée* parce que cette famille est plus facile à cultiver que les autres. La majorité des algues bleu-vert est encore à étudier de ce point de vue. De nombreux faits indiquent que d'autres espèces peuvent avoir cette propriété et on en trouve souvent des spécimens vigoureux dans des milieux très pauvres en azote combiné. On a revendiqué ce pouvoir pour des espèces d'*Oscillatoriacées* et de *Chroococcales* [13, 14], mais on n'a aucune garantie dans ces cas de la pureté des cultures employées.

La fixation d'azote n'a lieu que dans certaines conditions bien définies. On n'a jamais pu, jusqu'à présent, la déceler dans la matière « au repos », une croissance active est essentielle. Une autre limitation provient du fait que l'assimilation d'azote libre ne se produit pas en présence d'azote combiné disponible. Les sels d'ammonium et les nitrates ont donc une action inhibitrice et la fixation ne commence que lorsque ces composés ont été épuisés du milieu [8]. Bien qu'en culture pure la croissance sur l'azote d'un nitrate ou de l'ammoniaque soit aussi bonne, sinon meilleure que sur azote libre, ces composés tendent, en culture mixte, à supprimer les organismes fixateurs d'azote en les mettant en concurrence avec les organismes qui ne le fixent pas. Des traces de molybdène sont nécessaires à la fixation d'azote par l'algue bleu-vert [6]. Le milieu le plus favorable à leur croissance est légèrement alcalin et la fixation ne se produit pas pour un *p*H inférieur à environ 5,7 [11].

Bien que jusqu'à présent il ait été impossible d'extraire les enzymes des cellules on a un assez grand nombre de renseignements sur les caractéristiques du système d'enzymes responsables de la fixation de l'azote, dans les légumineuses et l'*Azotobacter*. Ces renseignements ont été obtenus en grande partie par des méthodes physico-chimiques [1, 15]. On a fait des recherches sur les caractéristiques du système d'enzymes de *Nostoc muscorum* [16] et elles semblent très similaires à celles des autres organismes. Le système enzymatique de *Nostoc*, tout comme celui de l'*Azotobacter* et son système de symbiotes, subit une inhibition spécifique par l'hydrogène et l'oxyde de carbone.

Il est évident que le système de fixation de l'azote dans les algues bleu-vert est similaire du point de vue physiologique à celui des autres organismes. Mais des différences dans leur physiologie générale font que le rôle naturel de ces algues en tant qu'agents fixateurs d'azote n'est pas entièrement identique à celui de l'*Azotobacter* ou des plantes légumineuses; en particulier il est important de noter que, tandis que les algues bleu-vert sont photosynthétiques, les bactéries nitrifiantes sont hétérotrophes et dépendent de composés carbonés déjà formés. Les algues bleu-vert qui fixent l'azote constituent les organismes les plus complètement autotrophes que l'on connaisse, en ce sens qu'ils peuvent effectuer pour leurs besoins les synthèses biochimiques les plus complexes en partant du gaz carbonique, de l'eau, de l'azote libre et des sels minéraux. En conséquence, ces algues peuvent croître dans des endroits où les bactéries nitrifiantes ne peuvent se développer à cause du manque d'hydrates de carbone comme, par exemple, sur les rochers dénudés ou dans l'eau. D'autre part, les milieux où la lumière ne pénètre pas, comme la terre, à part ses couches superficielles, et qui conviennent aux bactéries, sembleraient peu propices pour les algues. Mais ce n'est pas nécessairement le cas; certaines algues bleu-vert tout au moins peuvent croître et fixer l'azote dans l'obscurité si elles y trouvent un hydrate de carbone convenable [10, 11, 17]. Par la combinaison des modes de nutrition par photosynthèse et par fixation d'azote, l'algue bleu-vert ressemble au système bactérie-nodosité de légumineuse. Toutefois, dans ce dernier cas, le siège de la photosynthèse et celui de la fixation d'azote sont séparés, l'assimilation carbonée ayant lieu dans la partie aérienne, verte, de la plante et l'assimilation de l'azote dans les nodosités des racines. Malgré cela, les deux processus sont très voisins [1].

L'azote fixé par l'algue passe éventuellement dans la circulation générale et est assimilé par des organismes incapables de le fixer pour leur propre compte. Les composés azotés formés peuvent être libérés de deux façons. Ils peuvent être excrétés ou perdus par diffusion dans le milieu extérieur pendant la vie de l'algue, ou libérés après sa mort, par décomposition ou digestion. Le filtrat de cultures saines de l'algue bleu-vert peut contenir une proportion considérable — jusqu'à 50% — de l'azote fixé sous forme de composé organique soluble [7, 8, 17]. Ces excrétions sont relativement plus élevées dans les cultures jeunes [19]; elles ne peuvent donc être dues à l'autolyse de cellules sénescentes. Comme des organismes incapables de fixer l'azote peuvent croître dans des cultures saines d'algues fixant l'azote, il semble qu'ils puissent assimiler, au moins dans une certaine mesure, les composés azotés excrétés. Comme les autres organismes fixateurs d'azote, les algues bleu-vert ont une teneur élevée en azote, de 7 à 8%, calculée sur la matière sèche [18], et un rapport carbone/azote égal à 10 : 1 [7]. La décomposition bactérienne de matière organique avec un rapport carbone/azote aussi bas, conduit à la production immédiate d'ammoniaque [7], qui est une forme d'azote combiné facilement disponible pour la croissance de plantes plus élevées.

Il reste à considérer l'importance de l'algue bleu-vert comme agent fixateur d'azote dans ses divers habitats. Il est nécessaire de savoir, non seulement jusqu'à quel point on se trouve en présence d'espèces nitrifiantes, mais encore si les conditions physiologiques sont telles que le processus puisse avoir lieu. La présence d'azote combiné disponible et l'absence de molybdène semblent jouer un rôle des plus importants en empêchant l'assimilation d'azote libre. On a démontré [20] que des traces de molybdène sont largement répandues dans la nature et l'on peut admettre qu'il y en a suffisamment dans la plupart des habitats pour permettre au processus de fixation de prendre place.

Les algues bleu-vert sont très répandues dans les sols neutres ou alcalins, mais se trouvent rarement en milieu acide [21]. Elles sont plus abondantes dans les couches superficielles [21] bien que la présence de la possibilité de croissance hétérotrophique de certaines variétés tout au moins, fait supposer qu'elles ne sont pas nécessairement confinées aux couches les plus près de la surface et exposées à la lumière. A côté des formes nitrifiantes mises en évidence il existe probablement beaucoup d'autres espèces possédant cette propriété. La concentration en nitrates des sols dans lesquels elles se trouvent est suffisante pour empêcher l'assimilation d'azote pur, mais il est possible qu'une pénurie de composés azotés se produise localement, particulièrement à la surface — et favorise le processus. Bien que ces algues se trouvent d'une façon générale dans des terrains propices à l'agriculture dans les régions tempérées, il est permis de douter de l'importance de leur pouvoir fixateur du fait qu'on n'a jamais prouvé qu'elles s'y trouvaient en quantité suffisante.

Par contre, dans certains terrains tropicaux l'algue bleu-vert semble être un facteur extrêmement important du maintien de la fertilité. Aux Indes il est possible de cultiver le riz dans les mêmes terrains pendant de nombreuses années sans addition d'engrais. Pendant la saison où pousse le riz le terrain est saturé d'eau et la végétation en algues bleu-vert, y compris plusieurs espèces dont le pouvoir nitrifiant a été démontré, est luxuriante [7, 12]. Il y a de bonnes preuves que ces algues sont les principaux agents responsables du maintien de la fertilité des rizières et le rôle des bactéries est probablement peu important [7].

Les algues sont particulièrement caractéristiques des eaux neutres et alcalines à teneur relativement élevée en matières organiques dissoutes [22]. Quelques-unes des espèces rencontrées sont des *Anabaenas* qui fixent presque certainement l'azote, comme on l'a revendiqué [23, 24], mais la preuve certaine n'est pas encore faite. D'autres types d'algues bleu-vert comme, par exemple, *Gloeotrichia natans* n'ont pas encore été examinées pour leurs propriétés de fixer l'azote. Aux époques où ces organismes sont le plus abondants la teneur en nitrate des eaux lacustres est très basse [22] et pas assez élevée, probablement, pour gêner la fixation. On a constaté [23, 25] que dans les pièces d'eau douce où elles sont abondantes ces algues sont les principaux agents responsables de l'augmentation de la teneur en azote combiné de l'eau. Ceci est probablement exact car l'azote combiné d'une floraison d'algues bleu-vert peut être égal à plusieurs fois la quantité d'azote combiné apparemment disponible pour sa croissance, ce qui indiquerait la fixation d'azote libre [19]. Les *Myxophycées* contribuent probablement très largement de cette façon à la fécondité de l'eau dans laquelle elles se trouvent.

Ces algues sont généralement les premières plantes à former des colonies sur des surfaces

dénudées de terrains ou de rochers. L'exemple le plus connu de ce fait est celui de la recolonisation de Krakatoa après l'explosion volcanique de 1883 qui dénuda l'île de toute vie végétale apparente. Les algues bleu-vert furent les premières à réapparaître sur la lave et la cendre volcanique sur laquelle, quelques années après l'éruption, elles formaient une couche gélatineuse, vert foncé [26]. Dans des circonstances moins frappantes, d'autres membres de ce groupe jouent un rôle de pionnier tout aussi important. Pour ne donner que deux exemples parmi les nombreux autres que l'on pourrait citer: une communauté d'algues bleu-vert forme le stade initial dans la succession des plantes sur certains sols érodés [27] et les *Myxophycées* jouent un rôle du premier plan dans la colonisation et la stabilisation des marais-salants, leur réussite en tant que colonisateurs réside d'une part, sans aucun doute, dans leur pouvoir marqué de résistance aux conditions défavorables, telles que dessication, températures extrêmes, concentration saline élevée, mais leur propriété de fixer l'azote ne doit pas être négligée comme facteur déterminant de leur présence sur des sous-sols peu prometteurs. Encore une fois, il n'y a pas de preuve concluante que parmi les algues bleu-vert qui sont en évidence comme colonisateurs, il s'en trouve qui puissent assimiler l'azote libre, bien que beaucoup d'espèces sur la liste des algues trouvées parmi les communautés végétales pionnières, appartiennent aux *Nostocacées* [26, 27]. Mais il y a quelques preuves que les algues bleu-vert qui forment des colonies sur des rochers, dans le désert, peuvent fixer l'azote et sont responsables de l'accumulation de nitrate [14].

A côté des formes vivant librement, on trouve de nombreuses algues bleu-vert en association plus ou moins intime avec d'autres plantes comme, par exemple, avec certaines hépatiques, avec la fougère aquatique *Azolla*, avec des cycas et avec une plante à fleur: *Gunnera*. On a dit plusieurs fois que l'algue *Nostoc punctiforme* que l'on trouve dans *Gunnera* et certains cycas, peut fixer l'azote et, dans un cas au moins [10], l'évidence semble solide. On n'a pu établir avec certitude cette propriété dans le cas d'*Anabaena*, que l'on trouve aussi dans des associations de ce genre. On a constaté que *Nostoc punctiforme* isolé de cycas, est à peine capable de nutrition autotrophe et qu'il est nécessaire de lui fournir des hydrates de carbone pour sa croissance et la fixation d'azote [10]. L'hôte peut généralement vivre sans être infecté par l'algue mais on n'a pas encore clairement établi l'avantage qu'elle tire de l'azote fixé. Dans certains cas, celui d'*Azolla* par exemple, la croissance en milieu exempt d'azote combiné est rendue possible par la présence de l'algue associée [6]. On a ainsi une certaine preuve que ces associations sont des symbioses bien qu'elles ne soient ni aussi fortement développées, ni aussi réussies que celles qui se produisent entre les légumineuses et les bactéries de leurs nodosités. Les plantes en question ne sont pas très répandues et s'il y a fixation d'azote cela n'aura probablement pas une grande répercussion écologique ou économique. Ces algues forment également des associations symbiotiques avec les mycètes, comme avec les plantes vertes, l'algue associée à certains lichens étant souvent une *Myxophycée*. La fixation d'azote peut très bien être importante en permettant à certains de ces organismes composés de vivre sur des roches nues ou dans d'autres sites inhospitaliers.

BIBLIOGRAPHIE

[1] WILSON, P. W. *The Biochemistry of Symbiotic Nitrogen Fixation* (Wisconsin, 1940).
[2] FRANK, B. *Ber. dtsch. bot. Ges.*, 1889, **7**, 34.
[3] JONES, J. *Ann. Bot.*, Lond., 1930, **44**, 721.
[4] DREWES, K. *Centralbl. Bakt.*, 1928, II, **76**, 88.
[5] ALLISON, F. E., et MORRIS, H. J. *Science* (N.S.), 1930, **71**, 221.
[6] BORTELS, H. *Arch. Mikrobiol*, 1940, **11**, 155.
[7] DE, P. K. *Proc. Roy. Soc.*, B, 1939, **127**, 121.
[8] FOGG, G. E. *J. Exp. Biol.*, 1942, **19**, 78.
[9] BURRIS, R. H., et al. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, 1942, **7**, 258.
[10] WINTER, G. *Beitr. Biol. Pfl.*, 1935, **23**, 295.
[11] ALLISON, F. E., et al. *Bot. Gaz.*, 1937, **98**, 433.
[12] SINGH, R. N. *Indian J. Agric. Sci.*, 1942, **12**, 743.
[13] COPELAND, J. J. *Amer. J. Bot.*, 1932, **19**, 844.
[14] ODINTZOVA, S. V. *C. R. Acad. Sci.*, U.R.S.S., 1941, **32** (voir *Nature*, 1943, **151**, 701).
[15] BURRIS, R. H., et WILSON, P. W. *Ann. Rev. Biochem.*, 1945, **14**, 685.
[16] Idem. *Bot. Gaz.*, 1946, **108**, 254.
[17] DE, P. K. Thèse non publiée, University of London, 1938.
[18] FOGG, G. E. *New Phytol.*, 1944, **43**, 164.
[19] Idem. Observations non publiées.
[20] TER MEULEN, H. *Nature*, 1932, **130**, 966.
[21] JOHN, R. P. *Ann. Bot.*, Lond. (N.S.), 1942, **6**, 323.
[22] PEARSALL, W. H. *J. Ecol.*, 1932, **20**, 241.
[23] HUTCHINSON, G. E. *Ecol. Monogr.*, 1941, **11**, 21.
[24] Idem. *Ecol.*, 1944, **25**, 3.
[25] ALEEV, B. S., et MUDRETSOVA, K. A. *Microbiology* (U.R.S.S.), 1937, **6**, 329; *Chem. Abstr.*, 1939, **33**, 5446.
[26] ERNST, A. *The New Flora of the Volcanic Island o Krakatoa* (Cambridge, 1908).
[27] BOOTH, W. E. *Ecol.*, 1941, **22**, 38.

Revue des livres

LE TRAITEMENT THERMIQUE DES MÉTAUX

Controlled Atmospheres for the Heat-Treatment of Metals, *par Ivor Jenkins, préface par C. J. Smithells. Pp. x + 532, avec 268 figures, y compris de nombreuses planches. Chapman and Hall Limited, Londres.* 1946. 50*s. net.*

Le traitement thermique des métaux dans des atmosphères contrôlées est un procédé d'importance pratique croissante. Dans une atmosphère ordinaire, les divers traitements thermiques auxquels les métaux et alliages sont assujettis pendant la fabrication produisent généralement une oxydation de la surface. La perte de métal en résultant, ainsi que du nettoyage rendu nécessaire, peut être énorme. Par exemple, on estime la valeur du fer perdu de cette manière en Grande-Bretagne avant 1939 à un million de livres sterling par an. Les pertes en métaux non-ferrugineux sont probablement aussi coûteuses. Pour réduire ces pertes et assurer le fini voulu il faut employer des atmosphères appropriées, mais il ne s'agit pas tout simplement d'éviter l'oxydation du métal. Pour les aciers, la carburation et décarburation des différentes surfaces doivent être contrôlées, et la nitruration peut être nécessaire; pour le cuivre, la fragilité résultant de la désoxydation est à éviter. Le problème consiste surtout à maintenir un équilibre véritable entre l'atmosphère et le métal pour toute la gamme des températures employées.

Malgré son sujet extrêmement technique ce livre est remarquablement facile à lire. Les problèmes discutés appartiennent plutôt à la chimie-physique qu'à la métallurgie, et le livre débute par un exposé simple et clair des équilibres chimiques et une discussion des systèmes gaz-métaux. Il décrit ensuite la production des atmosphères contrôlées pratiques pour l'industrie (dérivés de l'ammoniaque, des hydrocarbures ou du charbon de bois). Une excellente section concernant les analyses est suivie d'une description complète des applications industrielles des atmosphères contrôlées aux différents aciers et alliages. Les problèmes scientifiques fondamentaux qui sont en jeu sont soulignés partout dans le livre, et il en résulte un ouvrage de grand intérêt tant pour l'étudiant et le savant que pour les métallurgistes.

J. M. ROBERTSON

LES CRISTAUX ET LES MINÉRAUX

Kristalle und Gesteine, ein Lehrbuch der Kristallkunde und allgemeine Mineralogie, *par P. Eskola. Pp. viii + 397, avec 461 figures. Springer-Verlag, Vienne.* 1946.

Cet ouvrage, publié à l'origine en finlandais et dont la traduction allemande peut maintenant être obtenue, est divisé en cinq parties de longueur à peu près égale: la géométrie des cristaux, la physique des cristaux, la chimie des cristaux, la pétrologie et la minéralogie systématique.

Dans un pareil cadre le traitement des sujets indiqués ne peut, évidemment, être poussé à fond; néanmoins, la revue générale ainsi constituée est agréablement présentée. L'auteur a donné place aux tables des 230 groupes d'espace, ainsi qu'à de courtes références sur l'analyse Fourier, la radioactivité, la géochimie et les analyses pétrographiques; mais leur présentation est trop brève.

Dans la section visant le métamorphisme des roches le traitement suit, d'une manière abrégée, celui qu'indique l'auteur dans *Die Entstehung der Gesteine* (1939).

La dernière partie constitue une courte revue des types de cristaux, en attirant spécialement l'attention sur la variété des structures cristallines que l'on rencontre dans les minéraux. Le volume est bien imprimé et illustré.

C. E. TILLEY

LA SOIE

Bibliography of the Technical Literature on Silk, *par F. O. Howitt. Pp. xxiv + 248. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres.* 1946. 21*s. net.*

Les étudiants, les savants et les techniciens dont les travaux et études touchent à la production, aux propriétés ou au traitement de la soie à tous ses échelons apprécieront certainement l'aide considérable que leur fournit la revue extrêmement précise du Docteur Howitt concernant les ouvrages sur la soie déjà publiés. Ils seront également reconnaissants au *Council of the British Cotton Industry Research Association*, sous les auspices duquel ce volume est publié.

La soie, qui est connue depuis l'antiquité, est si largement répandue géographiquement qu'il s'est formé un véritable langage technique à son sujet, et le lexique des termes de l'industrie de la soie qui forme le début de ce livre sera tout particulièrement apprécié.

Les quinze chapitres de la bibliographie proprement dite passent en revue successivement la littérature de la culture de la soie, dans ses rapports avec les traitements de la fabrication.

Les références sont groupées par chapitre et comprennent les indications de brevets, index de sujets et auteurs pour la totalité du livre.

Les connaissances spécialisées de l'auteur et sa vaste expérience lui ont permis de donner ses appréciations sur tous les sujets examinés. Il attire fréquemment l'attention sur des problèmes d'une valeur fondamentale du point de vue scientifique et technique et sur lesquels les informations sont insuffisantes, ou font défaut.

E. B. ABBOT

LA LÉGISLATION ANGLAISE RELATIVE AUX BREVETS

Inventions, Patents, and Monopolies, *par P. Meinhardt. Pp. 352. Stevens and Sons Limited, Londres.* 1946. 25*s. net.*

Il est rare que l'on trouve un livre de jurisprudence qui puisse être lu et apprécié tel un bon roman. M. Peter Meinhardt peut, cependant, se vanter d'y avoir réussi avec son livre. Ce livre, qui doit intéresser tant l'expert légal que le lecteur ordinaire, fait appel tout spécialement à l'homme de science désireux de connaître l'esprit de la législation anglaise des brevets et son *modus operandi*. L'auteur examine les relations existant entre les inventeurs et le public, et retrace le développement de la législation anglaise des brevets, en exposant clairement et d'une manière détaillée son application pratique courante. Il passe ensuite en revue les divers abus des droits de monopoles des brevets. Venant à une époque où les réformes économiques sont à l'ordre du jour, et où des allégations d'abus de brevets, souvent trop généralisées et inexactes, sont lancées contre les industriels, ce livre apporte une précieuse contribution à l'éclaircissement de ces questions.

L'auteur termine en présentant des suggestions pour la réforme de la législation des brevets: en particulier, l'intéressante modification de classer les brevets en « brevets sous licence » et « brevets complets », une telle classification devant découler du degré d'ingéniosité dont fait preuve l'invention en question.

L. R. BATTEN